

地震

第 2 輯

第 6 卷 第 1 號

昭和 28 年

論 說

- 1605 年海南島大地震 慶松 光雄 1
- 第 2 回石淵爆破地震動観測結果 爆破地震動研究グループ 5

綜 合 報 告

- 弾性表面波について 佐藤 泰夫 28
- 地震表面波の観測 秋間 哲夫 35
- 地震時報 中央气象台地震課 55
- 学会記事 58

地 震 学 会

地震学会々則

1. 本会は地震およびこれに関連する諸現象の研究並びにその應用に関する知識を交換、普及し震火災防止に貢献することを目的とする。
2. 本会は地震学会と稱して、事務所を東京大学地球物理学教室内におく。
3. 本会はその目的を達するため下記の事業を行う。

- (i) 通常総会および臨時総会 (ii) 學術講演会
(iii) 會誌「地震」の發行 (iv) 其他必要な事業

通常総会は毎年必ず1回適當な時期に行い、臨時総会は委員5名以上あるいは會員30名以上の請求のあつた時に開く。總會の成立は普通會員1/5以上の出席(委任状を含む)を要する。

4. 本会々員は名譽會員、普通會員、購読會員、及び贊助會員とする。會員となろうとする者は會費1ヶ年分をそえて本会事務所へ申込みものとする。
5. 地方あるいは特別の機關等に支部をおくことができる。
6. 委員長1名、委員若干名をおく。
7. 委員長は本会を代表し、各委員は編輯、庶務、會計等の事務を分担し、そのために若干名の幹事をおくことが出来る。幹事は委員長が委嘱する。
8. 本会には顧問若干名をおくことができる。
9. 委員は普通會員の互選によつて選出する。委員長は委員の互選による。委員長及び委員の任期は1年とし、再選をさまたげない。
10. 委員及び委員長の更迭期を3月末とする。途中補欠として加つたものの任記は前任者の殘存期間とする。

附 則

1. 普通會員、購読會員の會費は1年400圓とする。
2. 會費年1口(1000圓)以上をおさめたものを贊助會員とする。
3. 支部のないときは連絡幹事をおく。連絡幹事は委員長が委嘱する。
4. 本会則は總會(又は臨時總會)に於て出席會員の過半数の賛成により改訂又は附加することが出来る。

委 員 (1953年3月選出)

委員長 和達清夫

委員 飯田汲事(地質調) 萩原章礼(東大) 早川正己(地質調) 西村英一(京大)
本多弘吉(東北大) 表俊一郎(東大) 和達清夫(中央氣) 金井清(東大)
加藤愛雄(東北大) 河角広(東大) 笠原慶一(東大) 吉山良一(九大)
高橋竜太郎(東大) 田治米鏡二(秋田大) 坪井忠二(東大) 村内必典(科博)
宇佐美竜夫(中央氣) 井上宇胤(中央氣) 松沢武雄(東大) 福富孝治(北大)
浅田敏(東大) 佐野渡一(名大) 佐々憲三(京大) 鷺坂清信(地震観)
宮村攝三(東大) 宮部直己(地理調) 水上武(東大) 広野卓藏(中央氣)
末広重二(中央氣) 鈴木次郎(東北大) [イロハ順]

庶務係幹事 表俊一郎・村内必典・広野卓藏・末広重二・宇佐美竜夫

會計係幹事 井上宇胤・山口弘次・笠原慶一・松本利松

編輯係幹事 宮村攝三・金井清・島津康男・安芸敬一

編輯委員会委員 飯田汲事・本多弘吉・和達清夫・金井清・河角広・坪井忠二
井上宇胤・松沢武雄・佐々憲三・宮部直己 [イロハ順] および編集・庶務・
會計係幹事代表各1名

顧問 中村左衛門太郎・北沢五郎

1605 年 (明・萬曆 33 年) 海南島大地震

金沢大学法文学部 慶 松 光 雄

(昭和 28 年 2 月 1 日受理)

The Great Earthquake of Hainan Island, China, on July 13, 1605.

MITSUO KEIMATSU

Faculty of Law and Literature, Kanazawa University

(Received Feb. 1, 1953)

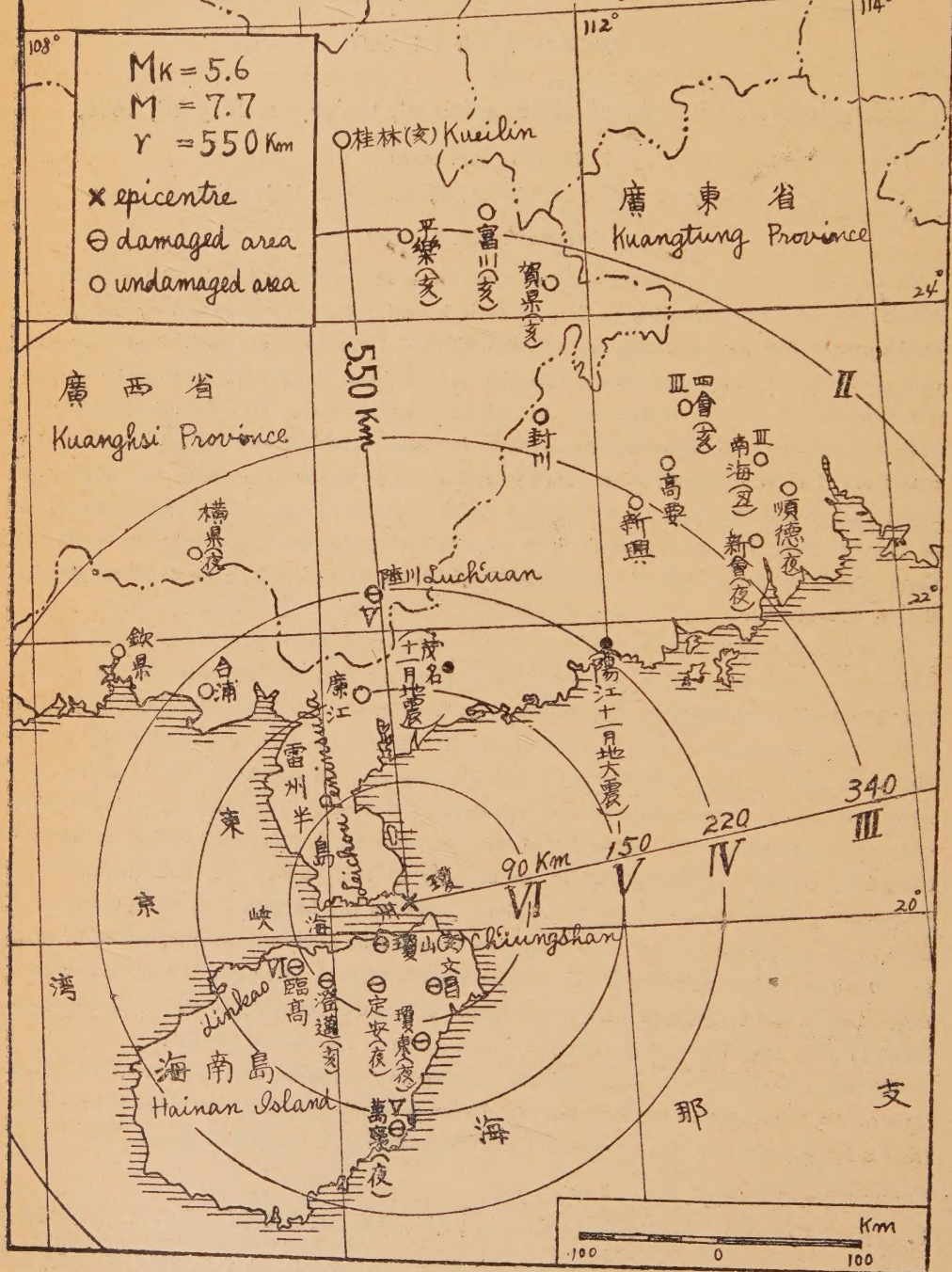
This earthquake was the greatest among the historical earthquakes in the vicinity of Hainan Island. But according to the authentic histories the damage caused by the earthquake on the day was restricted to Luch'uan, Kuanghsi Province, although at another part of one of these histories we find a description of a regional destructive earthquake in the districts around Hainan Island and Leichou Peninsula. These two data have hitherto been ascribed to two different earthquakes, but the writer's closer examination of the gazetteers of each Sheng 省, Fu 府, Chou 州 and Hsien 県 in the Kuangtung and Kuanghsi Provinces revealed that they are nothing but the descriptions of one and the same earthquake on the very day. The documents at more than 20 places give the same date and seven of them testify the same time of occurrence of the shock at 21~23 h, and 8 others denote that it was at night.

The annexed map shows the whole seismic area in which the capital cities of each Hsien, where documents testify that the shock took place on July 13, are denoted by circles. Places suffered some damage were indicated by horizontal diameters in the circle (⊖). The districts in the north-east part of Hainan Island suffered most from the earthquake, where almost all the buildings were destroyed and fissuring and subsidence of the ground, landslides and spouts of water were seen everywhere. The damage along the north-east coast was especially heavy, the city-walls of the two Hsiens, Ch'ungshan and Linkao, were completely destroyed, showing vividly the severity of this earthquake, and thousands of people being killed in the former city. The damage on the Leichou Peninsula must have been great though we have no data since the intensity at Luch'uan at further north was so severe as above mentioned. From the distribution of intensity, the epicenter and magnitude of the earthquake were determined. The circles denoting isoseismals in Japanese intensity scale are those corresponding to the magnitude $M_k=5.6$ or $M=7.7$.

Although the epicentre is located in the Ch'ungchou strait, no description concerning the tsunami on this occasion has been found. Documents relating that the aftershocks lasted from a few months to a year were found, but we could not find any description of foreshocks of this earthquake.

I. 序 この地震は、現存史料に関する限り、海南島史上に於て比類を絶した大地震であることは勿論、広東・広西両省に関しても史上屈指の大地震であり、シナ地震史上に於ても逸す

The whole disturbed area of the Great Earthquake,
Hainan Island, China, A.D. 1605.



可からざる大地震の一つと云えよう。それにもかゝらず、史上に殆んど取上げられていないのは、海南島が遠隔辺鄙の島嶼で、当時政治・経済・文化上一向とるに足りない場所であつた爲であろう。なお私が紹介するまで殆んど人の注意を引かなかつたのも、眼につき易い編纂物にまとまつた形で記されていない爲と考えられる。

本稿については、地震研究所の河角広教授から種々有益な御教示を受けた、記して以て深謝の意を表する次第である。

II. 震域全図について 図上の地名はすべて県を現わし、⊙又は○印は、各県の行政上の中心即ち県治を示す。之等はすべて、萬曆 33 年 5 月 28 日 (1605 年 7 月 13 日) 確かに各地点に於て地震が感ぜられたことを記す独自の確実な史料に基いて決定されたものであり、推定によるものは一つもない。ただ一つ広東省廉江県に関しては、5 月とだけで日附の記載がないが、これは同日と推定されるので図に加えた。地名の下に(亥)、(丑)又は(夜)とあるのは、28 日にかけて更に発震時をも記すものをそのまゝに寫したものである。なお図上白紙の箇処にも多くの県が存在する。広東・広西兩省の殆んど全県に亘つて地方志を調査した結果、図上空白内にある各県については、この地震に関する何等の史料を発見出来なかつたのである。

III. 単一地震であるという推定と発震時について 前章に云う通り、各地独自の史料によつて考えるに、発震時の記録に於て、年月日のみならず時刻まで一致するものの多いことは、即ち図上各地の地震が同一地震であることを示す有力な証拠であらう。当時の最も詳しい時間の記載法による(亥)時は 21—23 時に当り、他方の(夜)という記載と相応するものである。

而して以上の事実によつて、この地震の発震時を(亥)時の間にありと斷じて誤りなきものと思ふ。

所が広東省南海県の時刻は(丑)時 (1—3 時) で、若しこれを(夜)と記すなら 27 日夜と記す可きかと思ふ。28 日にかけて時刻の記載ある全史料中、これ一つだけが他と異なるものである。これは勿論一応史料通り受取るより外ないが、或は記録違いで、実はこれも(亥)とある可きものと考えられぬこともない。

なお当時すでにこの広い震域に亘る同一地震の発生を一言にして述べ盡している史料がなくもないのである。明実録、萬曆 33 年 9 月壬申条に見える礼部の奏言中には、月日の明示こそないが、この年海南島及び広東省雷州半島其他広西省東北端桂林附近に亘る広い地域に大きな被害を伴つた地震の発生を物語る言がある。正に私が個々の史料に基いて得た震域全図と符節を合わせるものである。

IV. 広西省陸川県地震について 理科年表の支那大地震年代表には、この地震と同日に大地震の記載がある。併しそれには、海南島はおろか広東省本土方面のことも一切記さず、ただ陸川県にかけて「城破損家屋破潰死者多シ」等級 2 (全壊家屋を生じた区域が平均径 40 軒以内)

と記している。この記事そのものには間違いがないが、陸川県の地震を、私の如くこの大地震の一環と考えるなら、理科年表の記載は却つてこの地震の全貌を著しく傷うものと云わねばならぬ。尤もそれには理由のあることで、明代の地震を一括記載している明史五行志、続文献通考物異考には正にそのように記されているのである。而してこれは明実録の「萬曆三十三年五月辛丑(28日)広西陸川県地震。声、崩るる山の如し。城垣・房屋を震塌し、居民を圧死すると男婦算無し」に基いたものであろう。尤も陸川県志には「圧死数十人」となっているので、「算なし」はやゝ誇張に過ぎるとしても、可成りの被害には相違ない。

さて同地の被害は、この地の震央距離 220 軒にほぼ相当する各地の状況と較べると特に大きいように感ぜられる。それでこの地震を、同地方を中心として起つた海南島大地震とは別箇の地震と観ることは必ずしも不可能ではなからう。併し私は、やはりこれを海南島大地震の局地的現象と見度いのである。その理由は、第一、発震時が同日であるということ。第二、陸川県自体には時刻の記録を発見し得ぬが、震央から同じく北方に当る同一省内の而も陸川県より倍程も震央から遠い桂林・平楽・富川・賀等の諸県に於て、震央に近い海南島の瓊山・澄邁両県同様「亥時地震」の記録を見出し得ること。第三、陸川県に於ける被害の差は、同地の地震を大地震の一環と看做すことによつては絶対に説明出来ぬという程のものではないこと等である。併し乍らこの第三の理由として、例えば陸川県の地盤が特に悪い、といったことを挙げ得るとしてもそれは飽くまで想定に止まり、問題を将来に残すより外ないのである。

V. 地震の大きさ 今迄に得た史料によれば、最大半径、広西省桂林県に至る 550 軒である。河角教授によれば、 $M_k=5.6$, $M=7.7$ として大差なきものであらうとのことである。

VI. 震央について 震央を瓊山県東北 40 軒の海中に定めたのは、被害最大の瓊山県に関する記録であると同時にこの地震の最も貴重な根本史料たる萬曆瓊州府志に「萬曆三十三年五月二十八日亥時。地大震。自東北起、云々」とあること、各地に於ける 5 月 28 日の地震及び餘震の状況、震域全体の広がり等を併せ勘考してのことである。

VII. 被害地の状況 被害各地に関する史料中から代表的な部分をひろつてこれを表示する。(次頁)

VIII. 被害の記録なく而も震動の強かつた処 単に「地震」とあるのではなく、特に「地大震」と記す所は、広東省の合浦・欽・四会・南海に広西省の横県を加えた都合 5 県であるが、南海県だけはこれを 28 日丑時にかけていること III 章に既述の通りである。なお広東省廉江県については、石城県志(石城は旧名)に「夏五月、地震。六七月又震。地陷ること井の如し。数処に水湧出するあり、馬千戸庄の陷七潭(陥没で出来た水たまり)今二を存す」とある。土地の陥没は恐らく 5 月 28 日の地震によるものを意味するものであろう。

IX. 津浪・前震・余震について 津浪及び前震について何等それらしい記録を発見し得な

被害地状況一覧表

省名	県名	被害摘 要
広 東 (海 南 島)	瓊山	五月二十八日亥時、地大震。東北より起る。声響雷の如し。公署民房崩壊殆んど盡く。郡城（瓊州府城即ち瓊山県城）中圧死するもの幾千。地裂け水沙湧出す。南の湖水深さ三尺。田地陥没するもの勝げて紀す可からず。調塘等のすべての田、沈みて海と成る、計若干頃。（頃は面積の単位）二十九日午時、復た大震。以後時ならず震響止まず。詳しくは署府事同知（官名）吳錢の中文（上奏文）にあり。〔中文極めて貴重なる資料、別載予定。瓊山県は海南島の行政の中心、島内第一の都邑〕
	臨高	夏五月二十八日、地大震、三日夜（三昼夜）。城垣・学宮・民房盡く圯る。海に近き地亀裂多し。馬衰場の塩田海に没し、課額の過半を損す。
	澄邁	五月二十八夜、地大震。声有り雷の如し。海沙崩裂深さ一丈に至り水を見るあり。高岸谷となり、深谷陵と為る。宇居・坊表傾壊殆んど盡く。人死すること数百。連震数月止まず。
	文昌	五月二十八日、地大震。官署民舍倒るもの多く、人畜を圧傷す。南五圖の村にて平地にわかに陥りて海となるあり。連震数日。
	定安	五月二十八日午夜（午夜は正午頃と夜の意か、或は午は衍字か）地震。声響雷の如し。民房・廨宇・坊表崩壊大半。其後晝夜を分たず相繼いで震うもの年を経たり。海浜の州邑、定安に較べて尤も甚し。
	瓊東	五月二十八夜、地震。声雷の如し。屋壊れ山崩れ、人物陷傷す。
	萬寧	夏、地大震裂。水沙を湧出すること数尺。ことは五月二十八夜に属す。
広西	陸川	〔省略。第Ⅳ章参照〕

い。これはあつたのに記録しなかつたというのではなく、事実にあつてもなかつたのであろうと推測される。余震については各地からそれと覚しき記録を集め一覧表にして掲げて置く。（次頁）

X 其他注目す可き現象 震央距離、海南島方面の状況等から考えると、雷州半島方面に被害の著しいものがないのは不思議なことに感じられる。これは発震機構、地質などの関係によることかも知れぬが、むしろ事実にあつては可成りの被害があつたにもかかわらず、史料の関係から十分これをとらえ得ないのではないかと考えられる。事実嘉慶年間編纂の雷州府志及び海康県志には一切地震史料の所載なく、遂溪県志またとるに足りず、徐聞県志はこれを見るによしない次第である。

この地震に先立つ数年、1600年から福建広東方面の沿岸に破壊的大地震が引続いて起つてゐる。この地震との関係は後日の考究にゆだね度い。

XI 資料 明實録・明史は云うに足りず、ひろく広東広西両省の地方志、即ち通志・府志・州志・県志にこれを求めた。勿論他にも絶無とは云わぬが、主要なものはほぼ蒐め得た積りである。

附記 本稿は昭和 27 年春期地震学会に於ける発表をもととしたものであり、昭和 26～7 年度文部省科学研究費による業績の一部をなすものである。

余 震 一 覧 表

斜線は地震というに同じ。
 〇は同一段に記載されたる各地の地震が確實に同一地震たることを示す。

(萬曆)		廣 東 省												廣 西 省							
		海 南 島			本 土																
年	月 日	瓊 山	臨 高	澄 邁	定 安	文 昌	欽 鼎	合 浦	海 康	茂 名	陽 江	高 要	四 會	南 海	新 會	順 德	德 慶	永 淳	桂 林	平 樂	賀 縣
5	29	午時 (11~13) 大震												子時 (23)~1							
	30													申時 15~17							
	3															/					
6	4												酉時 17~19	戌時 19~21				戌時 19~21	/	/	
	×											屢々 震	四日頃 連日震				五 震				/
7	4	/												子時 (23)~1	夜			戌時 19~21			
	18															/					
35 8	11	/																			
	25													戌時 19~21	夜			亥時 21~23			
	26													子時 (23)~1					亥時 21~23		/
	×																				/
9	28															/					
	1												子時 (23)~1		夜						
10	7														申時 15~17						
	12							/													
	×						連日震 至二十日									/					
11	×	/	/					/	/	/	/	/							/		
	12															/					
34	1															/					
	14															/					

五月二十八日以後日に震うこと二三・或は
 数日に一・震夜亦たかくの如しその震の始まる
 や多く東南より起るまゝ東北よりのものあり
 五月二十八日より起り十月二十日に至りて止
 む・古より地震未だかくの如く久しきものあ
 らざるなり
 五月二十八日以後連震数日
 五月二十八日以後晝夜を分たず、相繼いで震
 うこと年を経
 五月二十八日以後連震数月止まず
 五月二十八日以後三日間は頻として大震あり
 殊に十月間程甚だし

十一月地大震・声あり雷の如し、西南より来
 たる・邑の大狂い吠え、池魚驚き跳る・官私
 の廬舎千余間を壊す

按ずるにこの一二年間地震震う・
 海南の諸郡尤も甚だし

第2回石淵爆破地震動観測結果

爆破地震動研究グループ*

(1952年11月4日発表, 1953年3月31日受理)

Observations of Seismic Waves from the Second Isibuti Explosion.

The Research Group for Explosion Seismology, Japan

(Received March 31, 1953)

On Dec. 27th, 1951, 7.8 tons of carlit were exploded at Isibuti, adjacent to the site of our first experiment, the result of which we have already reported. Seismic waves from the explosion were observed along two profiles, extending to the south and to the east from Isibuti.

In the eastern direction, at least three horizontal layers are found, the velocities of P waves through them being 2.56, 4.67 and 6.08 km/sec and the depths of the interfaces between them being 0.75 km and 1.59 km respectively.

Different features are seen in the southern direction, that is, no effect of the second layer can be recognized, and the velocity in the third layer is about 5.91 km/sec. At Sinobu, where the epicentral distance is 160 km, a phase is seen, which may correspond to a phase through the lower (fourth) layer, i. e. so-called P_n . Also a phase with the velocity of 3.37 km/sec is seen in both of the directions, which may be supposed to be S in the previous experiment. But a remarkable phase of the same velocity, which appeared about 1 second after S in the first experiment, cannot be found this time.

1. はしがき 従来主として自然地震の走時などの観測から推定されていた地殻の構造を、大規模な人工爆破による地震動の観測によつて、より一層高い精度で推定しようという、いわ

* この観測に参加した者はつぎのとおりである。

東京大学地震研究所, 東京大学地球物理学教室, 中央気象台地震課, 地質調査所物理探鉱部, 東北大学地球物理学教室, 秋田大学鉱山学部, 国立科学博物館, 京都大学地球物理学教室, 水沢国際緯度観測所。

震研: 秋間, 萩原(輝一), 平賀, 河角, 笠原, 小林(直吉), 松本(利松), 松本(英照), 宮村, 宮崎, 表,

佐久間, 沢栗, 島, 柴野, 辻浦, 山崎, 柳沢。

東大地球物理: 浅田, 田, 早津, 小林(直太), 松沢, 茂木, 佐藤, 清水。

気象台: 相原, 井上, 市川, 小川, 末広, 宇津。

地質調査所: 吉家, 金子, 小島, 立石, 氏家。

東北大地球物理: 加藤, 峯, 乗富, 小坂, 鈴木, 高木。

秋田大: 田治米

科学博物館: 本多, 村内。

京大地球物理: 神月, 岡野, 玉城。

水沢緯度観: 村上, 須川, 高橋。

ゆる爆破地震学なる研究分野は、最近特に活潑なうごきをみせている¹⁾、わがくににおいては、1950年10月25日岩手県膽沢郡若柳村石淵（水沢町西方約20 km）で東北地方建設局が堰堤工事のためにおこなった57トンの大爆破による地震動の観測がわれわれによつてなされたのが、はじめてであつた。この結果については、すでに本誌およびその他に報告引用されている²⁾。

翌1951年12月27日同所でふたたび7.8トンの工事用爆破がおこなわれることになつたので、これに対し準備をととのえ、前回にくらべ質量ともによりすいんだ装備をもつて、この観測を実施した。この結果については、すでに英文をもつて別に発表したが³⁾、学会にて講演したものであるから、こゝに一応簡単な報告をのせていたゞく次第である。

2. 観測の準備 地震計としては自己振動数3 c/sの小型(MC3V MC3H)の動線輪型電磁地震計で、上下動および水平動いづれにも転用できるものを27個つくつた。この地震計の設計および特性の詳細については、別に発表されている⁴⁾。

この地震計の増巾器には、横川電磁オツシログラフのD型振動子およびH型振動子をもちいる場合に應ずる、それぞれ二種の増巾器をつくつた。D-型用は6C6三段増巾でA電源は電池、B電源は積層乾電池を用いる。H型用には電源として交流エリミネーターを整備した。これらの詳細についても、別に発表された⁴⁾。

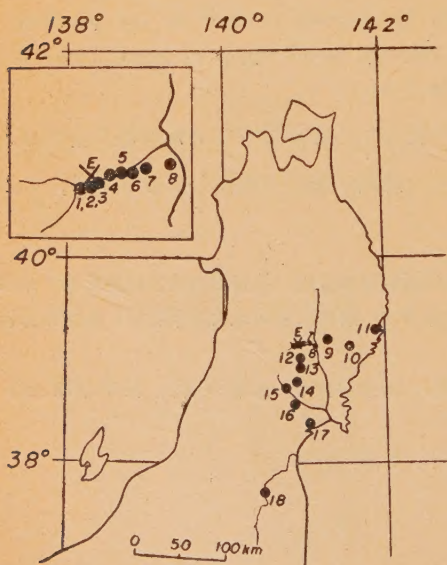


Fig. 1 Seismic observation stations for the second Isibuti explosion.

(Letter E indicates the place of shot and the numbers correspond to those in Table I.)

オツシログラフは横川電磁オソシログラフの要素を木箱にいれて、おなじく横川電磁オツシログラフの長時間記録用カメラをこれに附し、カメラのモーターの電源には交流を用いた。

刻時については、標準電波JJY (4 Mc) による、東京天文台からの分秒報時を受信して、オツシログラフのA乃至H振動子をふらせて記象と並行に記録させるようにした。

このような装備によつて別表のように18班を編成、観測することになった。第1回の経験により測線は東方と南方の二方向にわけた。東方は比較的近い距離にかなり密に点をおけたが、南方は場所の関係で、近いところに観測点をおくことはできなかった。

Table I Seismic Data of the Second Isibuti Explosion.
 (1951. Ⅲ. 27. 12h 05m 59.84s)

Station	Epicentral Distance in km	Observers	Arrival Times of Waves (12h 06m+)			
			t_1	t_2	t_3	t_4
1. Orose	1.08	Ichikawa Takahashi	0.825 (+0.0001)	—	—	—
2. Tunnel I	0.22	Kojima Huruya	-0.095 (+0.0020)	—	—	—
Tunnel II	0.32	Sakuma Sukawa Suyehiro	-0.056 (-0.0020)	—	—	—
3. Isibuti	1.69	Kobayashi Murakami	0.50 (-0.0002)	—	—	—
4. Umadome I	4.31	Matumoto, T. Aihara	—	1.18 (-0.0754)	—	—
Umadome II	4.40	Hayatu	1.56 (+0.0001)	—	—	1.56 (-0.136)
5. Atago	8.65	Tuziura Mogi	—	2.26 (+0.0742)	2.20 (+0.175)	2.97 (+0.015)
6. Dobasi	12.09	Noritomi Osaka Takagi	2.90 (-0.0644)	2.90 (-0.0644)	2.52 (+0.022)	3.93 (-0.044)
7. Wakayanagi	14.62	Utsu Ogawa	—	3.53 (-0.0232)	3.03 (-0.072)	—
8. Mizusawa	21.10	Miyazaki Hiraga	—	4.82 (-0.0348)	3.93 (-0.144)	6.67 (+0.028)
9. Ide	30.	Akima Sawakuri	—	—	—	—
10. Setamai	55.90	Tateishi Ujiie	—	12.31 (-0.0052)	9.79 (-0.012)	—
11. Kamaisi	87.54	Kasahara Sato	—	—	15.04 (+0.031)	26.44 (+0.121)
12. Hondara	15.29	Hori Den Shimizu	—	3.44	2.78 (-0.040)	5.08 (+0.159)
13. Kurikoma	22.52	Murauchi Honda	—	—	3.99 (-0.054)	7.08 (+0.017)
14. Hosakura	33.	Tamaki Okano Kōzuki	—	—	—	—
15. Kawatabi	41.92	Tazime Kobayashi	—	—	7.43 (+0.102)	—
16. Nakaniida	60.	Shima Shibano Yanagisawa	—	—	—	—
17. Matusima	81.60	Yamazaki Kobayashi Hagiwara	—	—	14.06 (+0.015)	24.4 (-0.160)
18. Sinobu	159.92	Suzuki Mine Oowaki	—	—	I: 26.57 II: 27.28 (-0.023)	46.3

今回の爆破は薬量は前回の7分の1であつたが、計器の改良により、南方では $\Delta = 160 \text{ km}$ まで測線をのばすことができた。

爆破の瞬間の時刻をとるために、火薬に電線をまきつけて、弱電流を流し、その記録線のきれる点を分秒報時の記録とくらべられるようにした、

ひろく、ひろがつた各点の連絡には、東北電力株式会社の専用電話線を借用し、また NHK の放送によつた。

3. 爆破 爆破方法は前回と同様で、猿岩の斜面の前回爆破したところのとなり約 36000 m^3 を、爆破するため9個の薬室にカートリッジ約1トンをつめて、電気雷管で点火した。薬室には特別に導線をいれて発破時刻の記録をとるようにした。

4. 観測およびその結果 1951年12月27日12時06分に爆破がおこなわれたが、前夜來の悪天候にて、当時も相当の風雨は風雪があり、各観測点とも観測条件はよくなかつた。JJY無線報時の受信状況もわるいところがあつた。しかし、連絡はよく行われて各点とも万全をつくし、結局観測は成功した。

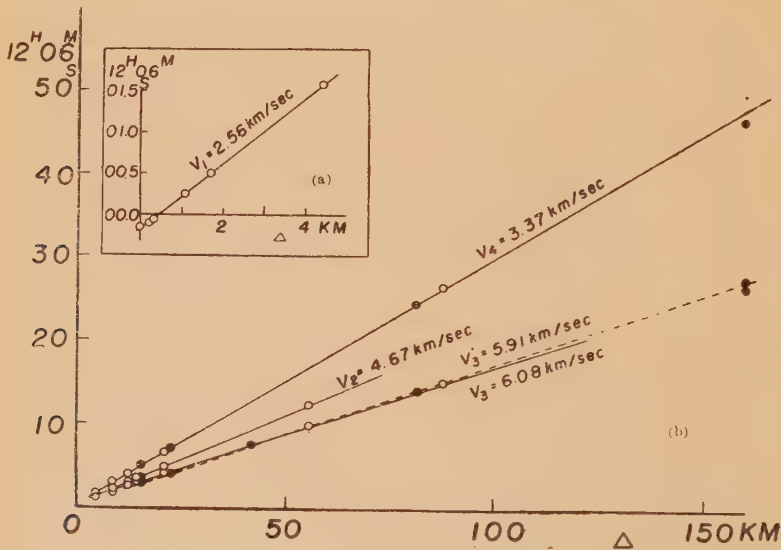


Fig. 2 Travel-time curves from the second Isibuti explosion data.

各観測点におけるおもな位相のよみは別表のとおりであり、爆破点からの距離 Δ は近いところは $1/50000$ の地図上ではかり、遠いところは経緯度から計算して出した。

爆破点附近、東方測線および南方測線について別々に走時を最小自乗法により計算すると、 Δ を km でとるとき、

$$\text{爆破点附近: } t_1 = 12^{\text{h}}06^{\text{m}} + (-0.51617 \pm 0.00022) + (0.3910 \pm 0.0008) \Delta^{\text{s}} \quad (1)$$

$$V_1 = 2.56 \pm 0.005 \text{ km/s} \quad (2)$$

$$\text{東方測線: } t_2 = 12^{\text{h}}06^{\text{m}} + (0.^{\text{s}}331 \pm 0.^{\text{s}}040) + (0.2144 \pm 0.0016)\Delta^{\text{s}} \quad (3)$$

$$t_3 = 12^{\text{h}}06^{\text{m}} + (0.^{\text{s}}602 \pm 0.^{\text{s}}076) + (0.1646 \pm 0.0017)\Delta^{\text{s}} \quad (4)$$

$$V_2 = 4.67 \pm 0.034 \text{ km/s}, V_3 = 6.08 \pm 0.063 \text{ km/s} \quad (5)$$

$$\text{南方測線: } t_3'(\text{II}) = 12^{\text{h}}06^{\text{m}} + (0.^{\text{s}}232 \pm 0.^{\text{s}}051) + (0.1693 \pm 0.0006)\Delta^{\text{s}} \quad (6)$$

$$V_3' = 5.91 \pm 0.021 \text{ km/s} \quad (7)$$

となる。たゞし南方測線で最遠点信夫の初動 (I) をとつた場合

$$t_3'(\text{I}) = 12^{\text{h}}06^{\text{m}} + (0.^{\text{s}}4 \pm 0.^{\text{s}}142) + (0.1645 \pm 0.0017)\Delta^{\text{s}} \quad (8)$$

となり、第2動 (II) をとつた場合の $t_3'(\text{II})$ より誤差が大きいので、これはすてた。即ち初動 (I) はより深い層に対応する屈折波と考えられるからである。

なお東方、南方両測線とも $V = 3.37 \pm 0.014 \text{ km/s}$ の波が観測され、これは前回一応 S_1 波となづけたものに対応している。 S かどうかも疑問であるが、速度は前回のもと同じである。なお前回は S_1 に約1秒おくれ、全く同じ速度でつたわる S_2 波が大きく記録されたが、今回はこのような位相はみられなかつた。爆破条件のちがひによるのかもしれない。

5. 地殻構造の推定 以上の結果にもとづき、東北地方のこの部分の水平成層構造は、東方測線では、

第1層 (P波速度 2.56 km/s)

境界面の深さ $Z_1 = 0.75 \pm 0.06 \text{ km}$

第2層 (P波速度 4.67 km/s)

境界面の深さ $Z_2 = 1.59 \pm 0.33 \text{ km}$

第3層 (P波速度 6.08 km/s)

と考えられることになる。

一方、南方測線では、上の第2層に対応する走時がえられていないが、これは適当な震央距離に観測点がないためであり、簡単に第2層が南方でかけていると断言することはできない。

たゞ南方の $t_3'(\text{II})$ の震央時刻 τ (intercept time) は東方の t_3 のそれとはかなりちがつており、むしろ t_2 のものにちかい。したがつて、一応第2層をなしと考えると、南方では、爆破点近くの走時とあわせて

第1層 (P波速度 2.56 km/s)

境界面の深さ $0.55 \pm 0.08 \text{ km}$

第2層 (P波速度 5.91 km/s)

なる水平成層構造を考えることができる。

信夫の第1動 I をより深い層 (第4層) からの屈折と考えるとき、かりにそれを自然地震の P_n にあたるとして、従来日本でえられている平均の P_n の速度 7.5 km/s を仮定すれば、この第4層までの深さは約 24 km になる。

地表における P 波速度を V_0 とし、地下深さ Z における P 波速度 V が、一次式

$$V = V_0 (1 + \alpha Z) \quad (9)$$

であらわされるように、増加しているという仮定をおいて、この場合の走時 T を Δ^5 以上を省略して

$$T = \frac{1}{V_0} \left(\Delta - \frac{\alpha^2}{24} \Delta^3 \right) + \dots \quad (10)$$

とするならば、東方測線の近距離での走時（前記 t_1, t_2 に対応する）は

$$t = 12^h 06^m + 0.128^s + 0.2296 \Delta^3 - 3.776 \times 10^{-6} \Delta^5 \quad (11)$$

となる。これによると、 $\Delta = 55$ km での初動を与える波線は地下約 9 km の点までもぐり、この最深点での速度が 5.15 km/s になることがわかる。一方これと t_3 の走時(4)式との交点からこの地表層と速度 6 km/s 層との境界面の深さをもとめると、わづかに 4 km となる。これは上にのべた最深点 9 km という事実と矛盾する。したがって、 t_1, t_2 に対応する走時をひとつの曲線で代表させること、いゝかえれば第 1 層、第 2 層を深さとともに速度のます一つの層でおきかえることは、適当な仮定でないことがわかる。よつて、われわれは一応水平成層 3 層の構造を東北地方の地殻構造として採用しておくことにする。

しかしながら、すでにのべた南方測線における第 2 層の問題、其他いろいろの複雑な問題があるので、さらに実験の機会をえてこれらの点を究明していきたいと考えている。

6. 謝辞 今回の観測については、前回同様のいろいろの方面からの御後援をえた。東北地方建設局、西松建設、東北電力、日本放送協会、電波庁標準電波発射所、水沢営林署、岩手・宮城・福島各県警察当局、各観測点所在地の方々、および観測班所属機関の関係者各位に対し、あつく御礼申し上げたい。なお本研究の経費の一部は文部省科学研究費によつた。附記して謝意を表する。

文 献

- 1) 爆破地震による地殻構造研究の展望。地球科学（民科地岡研編）第 7 号。1952 年 2 月、1—18 頁。
地殻構造と爆破地震学。自然（中央公論社）第 7 巻、第 11 号。1952 年 11 月、22—32 頁。
- 2) 爆破地震動研究グループ：石淵爆破地震動の観測。地震 (ZISIN) Ser. II. 3 (1951), 77—82.
R. G. E. S.: Explosion Seismic Observations in North-Eastern Japan. Bull. E. R. I. 29 (1951), 97—106.
Jeffreys, H.: The Earth. 3rd Ed. 1952. p.
- 3) R. G. E. S.: The Second Explosion-Seismic Observations in North-Eastern Japan. Bull. E. R. I. 30 (1952), 279—292.
- 4) 浅田敏、田治米鏡二、他：1951 年 11 月 3 日地震学会講演会（仙台）にて講演。

弾 性 表 面 波 に つ い て¹⁾

東京大学地震研究所 佐 藤 泰 夫

(昭和 28 年 3 月 31 日受理)

On Elastic Surface Waves.

YASUO SATO

Earthquake Research Institute.

(Received March 31, 1953)

General sketch of the elastic surface waves
was tried under the following subdivision.

1. Introduction.
2. Limited world.
- I. Historical sketch.
3. Reflection and refraction.
4. Rayleigh-waves.
5. Aeolotropic medium.
6. Surface layer.
7. Plate.
8. Love-waves.
9. Heterogeneous medium.

10. Additional remarks.
11. Generation.
12. Dispersive medium.
13. Liquid-coupling.
- II. Definition and classification.
14. Definition.
15. Rayleigh-waves—Love-waves—Total reflection of S-waves.
16. Symbolical representation (1).
17. Symbolical representation (2).
18. Cylindrical surface waves.
19. Nomenclature.

1. 序

今日私に課せられた役目が何であるかについて、大変に疑問に思ふものであります。といふのは、私は特別に人の知らない事を知つてゐるわけでも、考へられた事のない事を考へたわけでもございません。従つて、ここで申し上げる事のできるのは、せいぜい今迄に多くの方のやられた事は何と何であつたかといふ事を、次次にかぞへて少しそれを整理してみるといふ程度でありまして、これを多く越える事は難かしいかと思ひます。どうかその程度で、お許しをいただきたく存じます。

2. 限られた世界

我我のすむ世界は限られた世界であります。考への上では、見わたす限り完全に一樣で、無限な、等方等質の弾性体、といったものを想像することできますけれども、実際の地球はさうではございません。従つて、もしも弾性体の中に起された乱れが、どこ迄も進んで行くな

1) 本稿は昭和 27 年 11 月 14 日、信州において開催された地震学会秋期講演会に際して、“地震の表面波に関するシンポジウム”(理論の部)として行つた講演に少しく手を加へたものであります。

ば、どこかでそれは壁——といふのは、何かちがつた物——にぶつからないわけには行きません。その時に何が起るか、これが我々の問題であります。そして表面波といふものも、この一般的な問題の中に包含して考へる事が許されると思ふのであります。

誰でも知つてゐる事でありますが、光が何か別の媒質にぶつかれば、反射・屈折等の現象が起されますが、それは弾性波についてもむろん成りたつ事であります。しかし、この事をもつと定量的に考へるならば、どのやうな性質が見出されるか、又我々が普通に知つてゐる反射や屈折のほかに、何かいちぢるしい現象は見出されないか。

かういつた事柄について、従来たどられた跡を、これからしばらくの間たどつてみたいと思ふのであります。

I. 歴史的概観

3. 反 射・屈 折

さきほど申しましたやうに、われわれが最初にとり上げる問題は

無限、等方、等質、完全弾性

等の前提のもとになされますけれども、そのうちの一つ、もしくはいくつかの条件が成りたらない時にはどうなるか。まづ、“無限”といふ条件をとり去ります。その時もつとも簡単なものは、平面でかざられた半無限体であります。その半無限体の自由表面に波が入射した時どのやうな現象が起るでせうか。よく知られてゐるやうに、 P 波が入射すると、同じく P 波が反射し、それに加へて SV 波を発生します。この時には何も特別の問題は起りません。しかし SV 波が入射した時には、少し様子がちがつて参ります。

今 SV 波の入射角を θ としますと、反射角は、 SV 波では同じく θ でありますが、 P 波では θ よりも大きい φ となります。(第1図参照)
 θ が増加するにつれて φ もまし、ある critical な θ の値 θ_c で、 φ は 90° になります。 θ が θ_c よりも更に増加する時、反射 SV は入射 SV と振巾がひとしくなり、 P の方は波面が自由表面に直角、従つて表面にそつて進行することになります。さらに、 P の振巾は、 z 方向に対しては指数函数的に減少いたしますし、表面での軌道は楕円形(平らな)、回転の向きは重力波とは反対となります。(第2図参照)²⁾

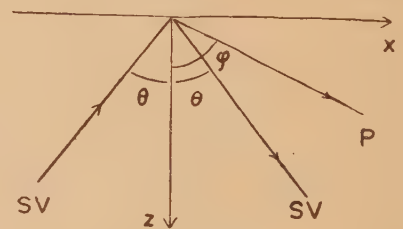


Fig. 1.

このやうな性質は、我々が今日 Rayleigh 波とよんでゐる所の波と全く同様であります、し

2) “)” によつて脚註の番号を、“[]” によつて末尾にある文献表の番号を示すことにします。文献 [8], [9] 参照。

てみればこの波もまた、表面波の中に入れて考へるべきではないでせうか。もしかうしたもの迄も表面波の範囲に含めるならば、表面波の問題は何も特殊なものではなく、限界のある世界での波の伝播を扱ふ以上、きはめて自然におこつてくるものだと言ふことが出来ませう。又、いひ方をかへれば、反射・屈折の問題こそ、表面波をその中に包含する所の、より一般的現象であると言ふことが出来ると思ひます^[16]。

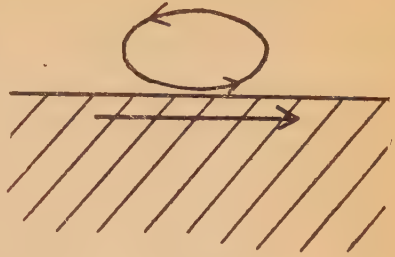


Fig. 2

文献表の第一に反射・屈折があげられてゐるのは、か

うした理由によるものであります。これについて、ほんのわづか説明を加へますと、

〔1〕は大変に古くてもみる事が出来ませんが、最初の有名なものでありますので、こゝに挙げました。

〔3〕が我々のみることの出来る、一番古いものであり、この時以来、超音波探傷法が発達するごく最近にいたる迄³⁾、弾性波の反射・屈折の問題は、もつぱら地震学者の手によつて行はれて来ました。

〔9〕はていねいに書かれた、教へられる所の極めて多いものであります。

〔16〕は理論よりも数値計算が数多く行はれてゐます。

〔15〕には上にのべたと同様のことが、別の観点から書かれて居ります。

4. Rayleigh 波

上のやうに考へて参りますと、Rayleigh 波の問題は、当然反射・屈折のあとから扱はれることになるはづであります。歴史的なできごとの順序は、必ずしもさうまくなつて居りません。反射・屈折に関する Knott の論文が 1888 年であるのに対して、これより 3 年も前の 1885 年に、有名な Rayleigh の論文があらはれて居ります。これは一ことで言へば、半無限体では自由表面にそつて、S 波よりも速度のおそいある種の波の伝播する可能性がある、といふことを示したものでありまして、一度かうした事がわかりますと、あとからあとからと同種類の研究があらはれて来たのは当然のことであります。重力の影響を考慮に入れた Bromwich^[19]、弾性体を半無限とせず球として考へた Jeans^[20]、境界面を自由表面としないで、別の種類の媒質を他の側において考へた Stoneley^{[21], 4)} その他いくつかがございます。

3) 超音波探傷に関するもののうち、地震に関係の深いと思はれる二三の論文を文献表 [XII] の部分にのせましたが、このほか、きはめて多数あります。

4) Stoneley 波でも境界面での軌道は楕圓となりますが、その回転の向きを問題にする事は意味がありません。一方の媒質についてみれば常に Rayleigh 波と同じであり、他方についてはこれと反対でありますから。

5. 異 方 性

さらに又、さきに挙げた前提の第2, 等方性をも否定して, 異方性媒質内の問題を扱った論文もあらはれて参りました。これが, 文献表〔III〕の部分にまとめてあります。

異方性媒質について, 特に目新しいといふほどの事ではございませんが, 一つだけ申し上げておきます。それはかなり前に Caloi が, 普通の等方性媒質の中に, Rayleigh が与へたのはちがつた種類の解が存在するのではないか, と言ひだしたことがあるのですが^[28], これがあやまつてゐる事は今日よく知られて居ります。ところで異方性の媒質——たとへば, 水平等方弾性体——では, 等方体にはない, ちがつた表面波が存在し得るであらう, といふ同じ見込みが少し前に呈出されました^[30], しかし, この場合にもやはり, 表面波は一種類しか存在しないやうであります^[33]。異方性が問題になるのは, 表面波の新しい種類ではなくて, むしろ実体波や, 表面波に与へる定量的な影響の方であるやうに考へられます。

6. 表 面 層⁵⁾

無限体のみを扱つてゐる所に, 自由表面の考へを導入することによつて, 問題の範囲が非常に増加したと同様に, 半無限体の表面にもう一つの層をおいて考へる事によつて, 更に飛躍的に広範囲の課題が我々に示されることになりました。さきの進歩が思想的, ないしは質的であつたのに対して, こんどの進歩は量的なものと云ふことができると思ひます。

こゝで特に重要なことは, 今日 Love 波と呼ばれてゐる, *SH* 波のつくる表面波の発見であります。これは後で別にあつかふことに致しますならば, ここに当然反射・屈折の問題が前同様に, かうした複雑な媒質について考へられて参ります。それに伴つて, 表面層の自己振動といふことが重要になつて来ました。かうした取扱ひはきはめて複雑であります。妹沢・金井・西村・高山などといった方の, 人間わざとは思へないほどむづかしい計算がのこつて居ります。文献表の中の〔40〕,〔48〕,〔49〕,〔54〕,〔55〕,〔56〕, 等はかうした問題を扱つたものであります。この外,〔XII〕の部分の〔184〕,〔185〕,〔186〕,〔187〕, 等も同じ問題に関するものであります。

又, ごく当然のことではありますが, このやうな媒質内でも, Rayleigh 波と同種類の波が考へられました。初めに, 簡単な場合が Love によつて^[34], 後になつて妹沢によつてさまざまの場合がたんねんに次から次へと——妹沢・金井のコンビによる一群の研究が今日地震研究所彙報をかざつてをります。(〔35〕,〔36〕,〔38〕,〔40〕,〔43〕,〔44〕,〔45〕,〔46〕,〔47〕,〔51〕,〔52〕,〔53〕,〔57〕,〔58〕,〔59〕,〔60〕,〔61〕,〔64〕) これらの研究によつて明らかになつたことの内, 一つの重要なことは, かうした表面層のある媒質内では, 波は分散性——つま

5) 以下の計算では, 特にことはらない限り, 問題を二次文のものとして扱ひます。

り波長によつて速度が異なってくる性質——を示すといふことであります。次元解析的⁶⁾な考へをつかふならば——この場合あまり厳密なやり方ではないかもしれませんが——次のやうに言へるかと思ひます。単純な Rayleigh 波が考へられたやうな半無限体の世界では、速度を決定する式の中に、波長が関与しうるやうな長さの単位といふものが存在してゐません、式でか

$$V = F_1(\lambda, \mu, \rho, L) \quad (6.1)$$

V ; Rayleigh 波の速度, λ, μ ; Lamé の常數

L ; 波長 ρ ; 密度,

であります。dimension から考へて

$$V = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2} \cdot F_2 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \quad (6.2)$$

それに反して、表面層がある場合には、その厚さ H が長さの単位として速度方程式の中に入つてくる；つまり、

$$V = G_1(\lambda, \mu, \rho, L, H) \quad (6.3)$$

であります。さて、前と同じやうに考へれば

$$V = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2} \cdot G_2 \left(\frac{\lambda}{\mu}, \frac{L}{H} \right) \quad (6.4)$$

となります。函数 G_2 が L/H を含むといふことは、波長が速度に影響をもつ、とりもなほさず分散現象を呈する、といふ事であります⁷⁾。

層がある場合の表面波で、忘れられないのは M_2 (Sezawa) 波であります。もともと、層がある時には、一般には分散曲線が多数存在しますが、そのうちのあるものを Rayleigh 波、他の一つを M_2 (Sezawa) 波と言ふのであります。しかし、計算が大へんにこみ入つてゐる為、全体の見とほしをつける事が困難であります。そこで、ここでは先づより簡単な、弾性板をつたはる表面波について考へてみたいと思ひます。

7. 板

もともと Rayleigh 波といふものに於いては、半無限体が主要な役割をなしてゐるはずであります。しかし、一度表面層を置いて考へるやうになつてみると——ことばが適當でありませんが——主導権が層の方にうつつて行く感があります。ことに、層があつてはじめて存在しう

6) P. W. Bridgman, "Dimensional Analysis. (邦訳は堀武男訳コロナ社). Lord Rayleigh, "Theory of Sound," Vol. I, p. 54, Vol. II, p. 429 等参照。

7) 従つて分散をしない表面波は、層を持たないものの中に求められるべきでありませう。もつとも、特別の場合として函数 G_2 が λ/H を含まない時もありますが、興味あるものではありません。

[75] p. 224 参照。

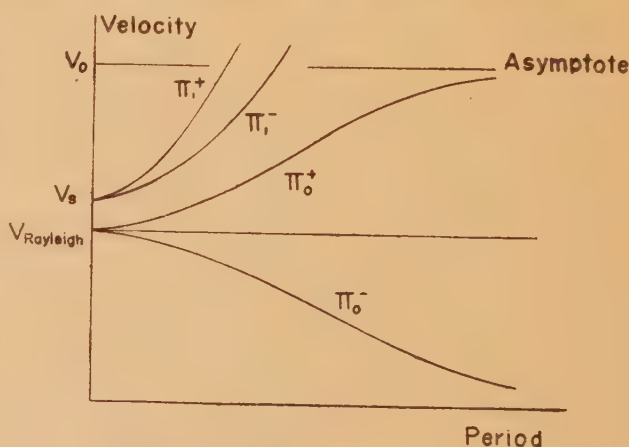
るやうな種類の波を扱ふ場合には、一そうその傾向が強くなります。そこで、はじめには附加的に考へた表面層であつたのですが、今度は半無限体の方を附加物のやうに考へて、これのない、層だけの場合——といふと実は弾性板といふ事になりますが——を扱つてみようと思ひます。

これははじめ Lord Rayleigh, H. Lamb らがやつた問題でありますが^{[68], [69]}, Lamb は巧みな思ひつきによつて、波を最初から二つの種類にわけて居ります。しかし存在の可能性を持つあらゆる波を尽すために、我我はこのやうな技巧を用ゐないで、もつとも一般的な速度方程式をたててみます。するとその式は記号を適当にとれば

$$(Z - \mathfrak{Z}/\mathfrak{Z}')(Z - \mathfrak{Z}'/\mathfrak{Z}) = 0 \quad (7.1)$$

の形に因数分解することができます^[75]。言ひかへれば、板の中には、二つの因数によつて与へられる全く独立な二種類の表面波が存在し、この外にはもはや存在しないことがわかります。前の因数を 0 と置いたものを Π^- 、もう一方を Π^+ と名づけることにすれば、 Π^- にも Π^+ にも無数に多くの分枝が属して居ることが明らかになります。今それらを、ある順序に従つて、 Π_0^- , $\Pi_1^-, \Pi_2^- \dots$; Π_0^+ , $\Pi_1^+, \Pi_2^+ \dots$ といふ風に書きあらはす事にしますと、 Π_0^- は、単純な Rayleigh 波の時にも、層のある Rayleigh 波の場合にも存在しなかつた異常分散の分枝で⁸⁾、

波長が長くなつた時、速度は 0 に近づきます。次の Π_0^+ は波長が十分短い時、単純な Rayleigh 波と等しい速度をもつ所の波で、表面での軌道の回転方向は Rayleigh 波と同じ、その形は楕円で、波長が長ければ水平方向に平べつたいものであります。これが、板の一面に半無限体がつくと、回転方向は変りませんが、軌道のたてよこの比が變つて来て、次第に縦長の Rayleigh 波の軌道になるものとみえます。つまり Π_0^+ が Rayleigh 波の系統とみてよいでせう。



V_p ; Velocity of P-waves,
 V_s ; Velocity of S-waves
 $V_{Rayleigh}$; Velocity of Rayleigh-waves,
 $V_0 = V_s \sqrt{1 - \frac{V_s^2}{V_p^2}}$

Fig. 3 (Not to scale)

それに反して、次の Π_1^- の分枝は波長のみじかい時速度は V_s に収斂し、回転方向は前と

8) この言ひ方は必ずしも厳密ではありません。層が一つある時にも異常分散の分枝があり得ることは示されて居りますし ([51], [52] 参照), 又講演会当日, 河角教授より, 二層をおいた時の Rayleigh 波の計算でも, このやうな分枝が発見されてゐるとの御注意をうけました. ([65] 参照)

逆であります。これがおそらく M_2 (Sezawa) 波に対応するものであると思はれます。そして Π^+ と Π^- の分枝とは、大体交互にならんで無数に存在するのであります。板の中の振巾と位相の分布を考へ合わせてみますと、 Π^- の方は第4図 (a) のやうな、板の bending の波、 Π^+ の方は同図 (b) のやうな びぢぢみ の波を考へてよいやうであります。板の場合には式が簡単でありますので、 Π^- 、 Π^+ の二つの系列以外には、別の分枝が存在しないことを正しく証明することができます。このやうに解析的に厳密な扱ひが出来ると云ふこと、又それによつて他の場合を類推することが出来るといふ事が、板の波を扱ふ事の一つの利点であると考えられます。

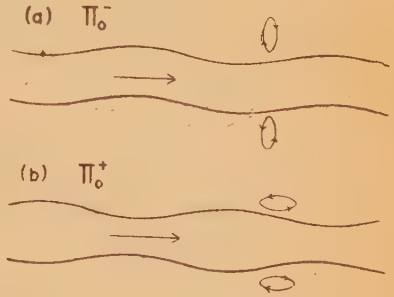


Fig. 4. Two modes of surface waves propagated on an elastic plate. (Not to scale)

M_2 (Sezawa) 波については、文献 [47], [57], [61], [64] 等にかいて居ります。此の波についても表面層の事についても、まだまだ種々申上げるべき事はございますが、先が急がれますので、この程度にとどめなくてはなりません。

8. ラ ブ 波

表面に層がある場合には、今迄扱つて来たのと全く別の種類の波—— SH 波の作る表面波——が存在しようと云ふことを、Love が有名な “Some Problems of Geodynamics” の中で示したのは、40 年あまり前の 1911 年でありました^[7]。

妹沢によれば⁹⁾、Love 波は数学がやさしすぎてつまらない、との事ではありますが、そのためでありませうか、最近迄 Rayleigh 波にくらべてかなり研究がおくれてゐたやうに思はれます。主だつたものと言へば、Matuzawa^[60]; Stoneley, Tilotson^{[78], [79]} らのやつた、表面層が二つある場合への拡張くらいのものでありませう。昨年単純な Love-波の速度についての論文^[84]があらはれましたのは、Love 以来 40 年ぶりのことでありました。しかし理論的に種々面白い点もありますし、数学がやさしいとは言つても、結構私どもには解らない位の難かしさは持つて居りますし、これから大いに研究されてよい方面であると考えます。

最後に最近の一二の成果をつけ加へるならば、まづ、表面で観測される Love 波は、層内を繰返し反射して伝はつて来た波の呈する一種の干渉現象であり、分光光学で用いられる Lummer-Gehrcke 板に極めて類似したものである事が、はつきり解つて参りました^{[15], [48], [103]}。又、Love 波では——Rayleigh 波でもおそらく同様でありませうが——媒質の構造を指定すれば分散曲線の決定する事は当然であります。分散曲線を与へても——ある範囲の誤差を許すか

9) [181] 邦語要約参照。

ぎり、それがかなり小さくても——構造の方はあまりよくきまらない、といふ事があります^[80]、これは地表の構造を決定することをめざす者にとつては、都合のよくない性質でありませうし、又従来、分散によつて構造をきめ得た、と考へて居た研究の中にも再検討を必要とするものが少くないのではないかと考へます^[10]。

9. 不均質体

無限体といふ前提を去つて半無限体とし、更に進んで、§5 では等方性の仮定をすて異方性の場合を、§6 以下では半無限体の上に別の層をおいた場合を考へて來ました。けれども一方には、さきに挙げた第三の条件“等質性”を去り、不均質の場合を考へた論文もむろんございます。(文献表〔VII〕参照)

このやうにして、次第に我々の地球がもつ實際の状態に近づいて行くわけではありますが、Rayleigh 波の場合には、あまり計算がむづかしいので、さすがに十分満足の行く解はえられてをりません。中で文献〔105〕は極めて手のこんだものであります。

Love 波については、幾人かの人が研究をかさねて居り、その論文の数も少くないやうであります。しかし不均質体では、表面層がなくても Love 波類似の表面波が存在しうる、と云ふことを示した Meissner, 妹沢らの論文^{[88], [89], [94]}以後、特に予測のつかないやうな性質がみつかつた、といふ様な事はないかと思ひます^[11]。

10. その他

なほ完全弾性といふ性質をすてれば、当然粘弾性、塑性、その他様々の性質を考慮に入れなければなりませんし、方程式が線型でない問題なども出て参りますが、こゝでは粘弾性についての二三の論文を文献表〔XII〕の部分にあげるに止め、多くは触れない事に致します。

11. 発生

以上様々の場合を扱つて参りましたけれども、それらは要するに、表面波の存在の可能性と、存在するならば持つべき性質とを調べたものであります。実際にさうした波を発生する様な機巧が存在しうるか否か、は別の問題であります。例へば完全な平面波といふものを考へて、その性質を調べる事は出来ますが、それを本当に起せるかどうかは別に考へなくてはわかりません。

そこで、この発生の問題を、はじめて、しかも素晴らしい巧妙さを以て解いたのが H. Lamb

10) 観測についての講演を参照。

11) チリの地震を日本で観察した場合、ラブ波の分散が極めてわづかであつた例が記録されをり、ほど centred wave ([118] 参照) の条件をみたすかの如くみえますが、その様な媒質は理論的にも興味あるものと考へます。猶、観測についての講演を参照。

でありました^[119]。1885 年の Rayleigh^[18]、1904 年の H. Lamb、それともう一つ、同じく発生を扱った 1925 年の H. Nakano^[120]、この三つの論文によつて、今日の表面波に関する理論的研究の骨組は出来上つてゐる、と言ひ得るかと思ひます。H. Nakano によつてはじめて、表面波の走時と、最初に発現する距離といふものがはつきりと表はされるやうになり、この頃を境として、表面波の理論的研究は日本の学者の活躍舞台となりました。

文献〔132〕の論文は、数学的厳密な取扱ひをした表面波関係では殆ど唯一つのものであります。

Love 波の発生については、K. Sezawa がやつてをります^[134]。

〔140〕は立派な解説であります。

これらは要するに、変位の積分表示を求めておいて、その積分をいろいろと巧みな工夫によつて解いてゐるのでありますが、計算が極度に複雑で（例へば〔138〕、〔141〕等）、このまゝでは行きつく所まで来てしまつた、といふ感じが致します。

12. 分散性媒質

それは、弾性媒質の中の波動伝播の問題は、数学的取扱ひが本質的に困難なものだからでありませう。しかも、媒質が分散性である場合には、その困難は一そう増大いたします。それで、この伝播といふことを、地震波とは必ずしも限らずに、津波、電磁波等にも共通の基礎理論を、独立に扱つた論文もいくつか現はれました。これを文献表〔VII〕の部分にあげておきました。

一般的な取り扱ひについては、文献〔111〕がやさしく丁寧であります。〔118〕も興味あるものです。

13. Liquid coupling

以上でほんの一通り従来の研究に目を通したかと思ひますが、戦後アメリカで M. Ewing と F. Press を中心としておこつた研究に Liquid coupling——といつておきますが——の問題があります。あとの観測についての講演¹²⁾で触れられると思ひますから、ごくざつと申しあげれば、今まで主として固体の弾性体が扱はれてゐたのに対して、流体がとり上げられるやうになつた、といふ事が大きな特徴であります。無論、種はずつと前から播かれてゐたのでありませうが、戦後俄に実をむすんで盛大となり、最近では最もにぎやかな話題の一つになりました。近くのものとは大きくみえるのが常でありますから、この研究も何年か何十年かたゞなければ、地震学の歴史の中でどの様な位置を占めるものかを、公平に判定することは難かしいかもしれませんが、忘れられてゐた一つの面をとり上げたといふだけでも、大きな功績だと思ひ

ます。

最初に T -phase^[133] の事を申しませう。これは Third の T だと思ひますが、Ewing によれば、海洋の中の低速層 (SOFAR-channel) を伝はつて来た波とされて居ります。もつとも、これに対しては洋底の低速層を伝はつたとする Don Leet 等の反対もありますが^[161]、今の所 Ewing の方に分があるやうに見えます。

次に Airy-phase^[154]。大洋の海水と、海底のやわらかい物質との coupling を考へた時に極小の群速度で伝はつて来る波——この伝播を計算する時に Airy-integral^[13] を使ひます——が Airy-phase と名づけられました。1 km/sec くらいのおそい波であります。

それから、Air coupling^[155]、^[157]、Ground roll coupling^[156] など、これらは何れも、極度に遅い伝播速度をもつた媒質がある事と、うすい境界層がある事、の二つが存在の為の条件であります。この様な条件のもとでは、その遅い速度と同程度の位相速度をもつた表面波の存在する可能性が多い事は、少し考へると明らかになつて参ります。十分厳密な計算はまだ行はれて居りませんので、その点をもう少し詳しくやつてみた上で種々な事を言ふべきではないかと考へます。現在までの議論は不完全であります。(第5図参照)

II. 定義と分類

14. 定義¹⁴⁾

今まで度々“表面波”といふ言葉を用ゐて来ましたが、それは特にはつきりした定義を下した上での事ではなく、何となく使つて来たのでありました。無論それでもこれといつて差支へもありませんし、又自然に発生した問題である以上、定義を定めて研究した、といふ訳でない事は勿論であります。しかし研究が相当の状態まで到達した今日、我々の考へを整理して研究の便宜を得る為に、どの様な定義を持つたらよいか、を考へる事は意味のない事ではないと思ひます。とは言へ、私はここで表面波とはこの様なものなのだと言ひきるわけではありません。私の申上げ得る限界は、表面波といふ題目のもとに従来いかなる現象が研究されて来たか、又我々がいかなる範囲の問題、いかなる種類の現象を、この名のもとに取扱ふか、と云ふ事にとどまります。

水の上を伝はる表面波や、Rayleigh 波が扱はれてゐる時の様に、“エネルギーが表面附近にのみ集中してゐる”，といふ定義によつては、板の波や、場合によつては Love-波ですら表面波から除外しなくてはならなくなります。

13) Watson, Theory of Bessel Functions. p. 188 参照。

14) 第Ⅱ部においても特にことはらない限り、二次元の問題を扱ひます。そのために以下の議論に本質的なちがひが起ることはないであります。

ではどのやうな定義を下すべきでありませうか、これ以上考へる経過を申し上げる事は略して、結論だけをのべれば次のとおりであります。

“一つ又はいくつかの平行な境界面によつてさかひされた弾性体（弾性流体を含む）を伝はる波の中、波面が境界面に垂直なものを表面波といふ”¹⁵⁾

そして、これに加へて次の様な表現法を採用したいと思ひます。

“表面波のうち、境界面に垂直方向の振巾変化が、exp-函数のくみ合せであるものを〔E〕-型、sin-, cos-函数であるものを〔S〕-型と呼ぶことにする”¹⁶⁾

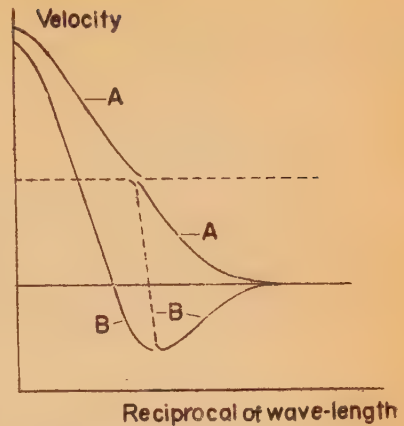


Fig. 5. Explanation of liquid coupling due to F. Press and M. Ewing [156].
— Classical Rayleigh wave branches.
---- Additional branches introduced by air coupling.
A... Phase velocity. B... Group velocity (Not to scale.)

15. Rayleigh 波—Love 波—S 波の全反射

このやうに定義致しますと、最初にのべた SV 波の全反射も、自由表面の SH -波の反射も、すべて表面波の仲間に入れなくてはならないことになります。

しかしながら、 S 波の反射にみられる〔S〕型の表面波と Rayleigh-波とでは、明白に区別される重要な相違があり、これを表面波とよぶ事には反対があるかもしれません¹⁷⁾。〔S〕-型では表面から遠ざかっても振巾が小さくならないばかりではなく、Rayleigh-波の様に速度がある一定の個有な値をとるといふ事はありません¹⁸⁾。或る範囲の制限はあるにしても、速度は勝手に変る事が出来ます。かうしたはなればなれの性質をもつた二種類の波を、同じ名前のもとに包含する事が許されるでありませうか、これを結びつけて考へる事を可能にするのは Love-波であると思ひます。

Love-波では速度は周期の函数として与へられます。別の表現をすれば、表面層内での SH -波の入射角をかへれば、或る範囲内で速度は自由にかはります。しかし周期さへ与へれば速度は一つの定まつた値をとるのであります。この事は Rayleigh-波にみられる性質であり、Love-

15) この點については更に立ち入つた議論を後日行ひたいと考へます。ここにのべたものは、最も広い意味での表面波であります。(昭和28年5月19日地震研究所談話会に拡張した考へを発表しました)

16) 文献[15]参照。ただし、この中では E, S の代りに A, B といふ記号を用ゐました。

17) 〔S〕-型を表面波と呼ぶ事については、和達気象台長よりの反対もあり、東大河角教授よりは、Uller は、“Geführtwellen”なる名称を用ゐるとの教示を得ました。

18) 例外もないわけではありませんが、(こゝでは証明を略します)。

波は表層内では S 波の反射, 下部では Rayleigh-波的な性質を示す, 中間的な存在と考へてよいのではないでせうか¹⁹⁾.

16. 記号的表現 (1)

§ 14 で行つた $[E]$ -型, $[S]$ -型といふかき方を, 従来しられてゐる表面波に適用するならば, これを簡単に表現することができます.

たゞし, P -波と SV -波と両方が存在する場合には, 二つの波の属する型をならべて, $[ES]$ といふやうに書く事に致します. P -波に関するものを前に, S -波に関するものを後にかくならば, P -波の方が速度が大きいですから, $[SE]$ といふ型が存在しない事は明らかであります. 又自由表面・境界面等を “——” によつて示す事に致しますと, Rayleigh 波は $[\overline{EE}]$ といふ風にかゝれる事になります. このやうにして, 普通にしられてゐる表面波を表現してみますと, 次のやうになります.

SH -波の自由表面での反射	$[\overline{S}]$
Σ -波 (SH 波が作る板の中の表面波) ^[75]	$[\overline{S}]$
Rayleigh-波	$[\overline{EE}]$
Π_0^- ^{[75], 20)}	$[\overline{EE}]$
Π_0^+ ^{[75], 20)}	$[\overline{EE}], [\overline{ES}]$
Love-波	$\left[\frac{\overline{S}}{\overline{E}} \right]$
Stoneley-波	$\left[\frac{\overline{EE}}{\overline{EE}} \right]$

17. 記号的表現 (2)

上のやうにして, 今まで我々が扱つて来た表面波をあらはすことが出来ると同時に, 我々は又, E と S 二つの文字の順列として, 純粹に機械的に, 存在するかもしれない表面波のすべての型を重複なくいろいろなしにかき下すことが出来ます.

今, n 個の文字によつて表現しうる型を, n -phase-type と呼ぶことにすれば, 次のとおり書く事が出来ませう.

One-phase-type;	$[\overline{E}], [\overline{S}], [\overline{E}], [\overline{S}]$
Two-phase-type;	$[\overline{EE}], [\overline{ES}], [\overline{SS}]$
	$[\overline{EE}], [\overline{ES}], [\overline{SS}]$

19) 文献 [15], [84] 参照. (表面波の定義を再考した結果(脚註¹⁵⁾ 参照) 本節の所論はやや変更を要する点が生じたと考へますが, これについては後日発表致します.)

20) § 7 参照.

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{array}{c} E \\ E \end{array} \right]^{21}, \left[\begin{array}{c} E \\ S \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} S \\ S \end{array} \right] \\
 & \left[\begin{array}{c} E \\ E \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} E \\ S \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} S \\ E \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} S \\ S \end{array} \right] \\
 & \left[\begin{array}{c} E \\ E \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} E \\ S \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} S \\ S \end{array} \right] \\
 \text{Three-phase-type;} & \left[\begin{array}{c} EE \\ E \end{array} \right]^{22}, \left[\begin{array}{c} EE \\ S \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} ES \\ E \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} ES \\ S \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} SS \\ E \end{array} \right], \left[\begin{array}{c} SS \\ S \end{array} \right] \\
 & \left[\begin{array}{c} EE \\ E \end{array} \right], \dots\dots\dots
 \end{aligned} \tag{17.1}$$

無論この中には、前節にも挙げたやうに今までによく知られてゐたものも入つて居りますし、幾つかの種類の表面波が同じ型に属してゐることも、又型だけは書いても実在し得ないもの等もあります。しかし、ここに書かれた以外の型をもつた表面波といふものは存在し得ません。従つてもしも、従来知られてゐたものと別に新しい型の表面波があるとすれば、それはこの中から見出されるにちがひありません。今これをかたはしから申しあげるといふ余裕はございませんし、又調べつくしても居りません。少しづつやつて居りますから、そのうちに主なものは発表しうる機会もあるかと存じます。

たゞ、こゝで“新しい型”と申しまして、phase の数があまりに大きいものが研究されてゐないのは当然であります。新しさが理論的研究で意味をもつのは、phase の数が比較的少ないものの中で未知のものを見出し得たときに限るであります。たとへば $\left[\begin{array}{c} E \\ E \end{array} \right]$ 、こんな型の波は今まで研究の対象となつた事がないやうであります²³⁾。現在いろいろの性質が研究されてゐるのは、four-phase から five-phase 位の所であります。M₂ (Sezawa) 波、Airy-phase などその例といへませう。

上に記したやうに、one-phase および two-phase-type ではそれぞれ 4 及び 16 種類、又 three-phase-type では 44 種、four-phase 135 種、five-phase 378 種と、phase の数と共にその種類は急速にふえて参ります。更に媒質のはじめは“自由”の場合と“固定”の場合がありますからそれを考慮に入れば種類はさらに増加致します。物質常数を種々に与へて、一つ一つの型の存在限界を完全に決定することは、数も多く容易なことではありません^{[84], [87]}。

21) 此の様に書いたとき、これが SH-波を表はすか、流体中の音波をあらはすかは決定しません。波の伝はる方向を x-軸にとれば、境界面では、SH-波の時には、 v と ηz の連続、流体の音波では w と zz の連続を条件としますが、これを満す両者の解は、自由表面がない時には同等なものが存在します。速度のおそい液体が速いものゝ上に浮んでゐる、といふやうな場合にも、性質はいくらかちがひますか、型は Love-波と同じ表面波が音波によつて作られます。

22) この様な場合、下の媒質は流体に限ります。固体では境界条件をあらはす必要上、下部でも二つの phase を必要としますから。

23) 文献 [74] の中に二重になつた弾性板のことは書かれてありますけれども。

18. Cylindrical surface waves

さきに (§ 14) 申しあげた表面波の定義を採用するならば、円柱や円筒、又球面を伝はる波は、表面波の中には入りません。しかし、上にならつて考へるならば、“cylindrical surface waves” と云ふ言葉を説明なしに用ゐても、容易にわかつていたゞけると思ひます。同心の円柱や円筒からなる弾性媒質の境界面にそつて伝はる波をいふものであります。これには、軸方向につたはるものと、周にそつて伝はるものとがあります。適当な考慮をはらへば、前にしたと同様の記号的表現を行ふことも可能でございませう。しかし、こゝではあまり深入りしない事にして、二・三の文献を〔XII〕の部分にあげる事に致します。(〔180〕,〔181〕,〔182〕,〔183〕等)。

19. 名 称

最後に表面波の名称について申し上げたいと存じます。

Reyleigh の見出した波を Rayleigh 波といふ事は、極めて明確であり、当を得たものと思ひます。Love-波についても同様でございます。しかし層のある場合には単に Rayleigh 波といつてもその意味する所が必ずしも完全に明瞭とは申せませんし、 M_2 (Sezawa) 波も同様であります。更に Stoneley 波にいたつては、観測の機会の殆どありさうにない、かなりあいまいなものとなさへ云ひ得ると思ひます²⁴⁾。

どのやうな名称をつけなくてはならないとも、又或る名称がいかなる内容を示すものでなくてはならないともこゝでは申しません。そのような権威は私にはございせん。たゞ不明瞭さをまじへない名称を定めていたゞきたいと存じます。既にさうした事を考えてよい時期が来てゐるのではないでしょうか。

これで私のお話しを終わります²⁵⁾²⁶⁾。

24) 表面層がある時に、Stoneley 波といふことばが時々用ゐられますが(例へば〔24〕p. 5,〔166〕等)その定義ははっきりしていません。

25) 第Ⅰ部では主として過去に得られた成果をしらべ、第Ⅱ部では、現在の立場に立つてこれらを別の視野からみることをつとめて来ました。従つて、こゝで更に進んで、将来に対する展望を行ふことは望ましい事でありませう。しかし、あらゆる点で、これを行ふ余裕をもたない為に、十分にそのつとめを果すことが出来ません。たゞ従来の研究を概観する時、上下方向には種の物質の分布を仮定して来たにも拘はらず、水平方向には常に一樣な分布を前提して居り、かうした条件が成り立たない場合が閉却されて来た事に気づきます。しかし理論的な面からも、実地との比較といふ点からも、これは決して捨て置かれてはならない問題と考へられます。文献表〔XI〕の部分には、かうした関係のもののいくつかが集められて居ります。

26) 文献表は 1952 年までに筆者が集める便宜を得たものに限ります。従つていろいろなく網羅し得たとも、これに含まれなかつた文献が重要でないとも考へるものではありません。不行届に対しては深くおわび申上げると共に筆者の無能に対して御叱正をたまはれば幸であります。

文 献

[I] Reflection and Refraction.

- [1] George Green, "On the laws of reflection and refraction of light at the common surface of two non-crystallized media." Camb. Phil. Soc. Trans., 7 (1839); Math. Papers (1871), 245.
- [2] George Gabriel Stokes, "On the dynamical theory of diffraction." Camb. Phil. Trans., 9 (1849); and Math. and Phys. Papers, 2, 233—258, esp. Part 2. "Propagation of Arbitrary Disturbance in an elastic medium."
- [3] C.G. Knott, "Earthquake and earthquake sounds; an illustration of the general theory of elastic vibrations." Trans. Seism Soc. Jap., 12 (1888), 115—136, "Reflexion and refraction of elastic waves, with seismological applications." Phil. Mag., 48 (1899), 64.
- [4] E. Wiechert, "Ueber Erdbebenwellen I." Nachr. K. Ges. Wiss. z. Göttingen, Phys.-math. (1907).
- [5] K. Zöppritz, "Ueber Erdbebenwellen VII B." *ibid.* (1919), 57.
- [6] G.W. Walker, "Surface reflection of earthquake waves." Phil. Trans., A. 218 (1919), 373—393.
- [7] H. Jeffreys, "The reflexion and refraction of elastic waves." M.N.R.A.S., Geo. Sup., 1 (1926), 321—334.
- [8] T. Matuzawa, "An example of surface reflection of elastic plane waves." Zisin, 4 (1932), 7—21. (In Japanese)
- [9] H. Kawasumi and T. Suzuki, "Reflexion and refraction of seismic waves at plane interface of the earth's surface crust." Zisin, 4 (1932), 277—307. (In Japanese)
- [10] H. Blut, "Ein Beitrag zur Theorie der Reflexion und Brechung elastischer Wellen an Unstetigkeitsflächen." Zeits. f. Geophys., 8 (1932), 130, 305.
- [11] L. B. Slichter and V. G. Gabriel, "Studies in reflected seismic waves." Beitr. z. Geophys., 38 (1933), 228.
- [12] L. Cagniard, "Reflexion et Refraction des ondes seismiques progressives." Paris, Gauthier-Villars, (1939).
- [13] Tisitu-Kōsō to Buturi-Tankō (II) Kawada-Syobō (1951).
- [14] F. Kitō, "On rate of reflection of sound wave of long wave-length." Keiō Daigaku Kōgakubu Hōkoku, 2 (1949), 7—13.
- [15] Y. Satō, "Surface waves propagated upon elastic media." Kagaku, 19 (1949), 311—319. (In Japanese)
- [16] T. Matuzawa, "Danseiron." (Iwanami-Kōza, Buturigaku.) pp. 162, 164.
- [17] Goodier and Bishop, "A note on critical reflection of elastic waves at free surfaces." Journ. Appl. Phys., 23 (1952), 124—126.

[II] Rayleigh-waves.

- [18] Lord Rayleigh, "On waves propagated along the plane surface of an elastic body." Proc. Math. Soc. London, 17 (1885). Or Scientific Papers 2, 441.
- [19] T.J. P.A. Bromwich, "On the influence of gravity on elastic waves, and, in particular, on the vibrations of an elastic globe." Proc. London Math. Soc., 30 (1899), 98—120.
- [20] J.H. Jeans, "The Propagation of earthquake waves." Proc. Roy. Soc. London, A 102

(1923), 554.

- [21] R. Stoneley, "Elastics waves at the surface of separation of two solids." *Proc. Roy. Soc. London*, 106 (1924), 416.
- [22] K. Sezawa, "On the propagation of Rayleigh-waves on plane and spherical surfaces." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 2 (1927), 21.
- [23] P. Caloi, "Sur une onde logue oscillant dans le plan principal." *Publ. Bur. Center. Seism. Intern.*, A 15 (1939), 93.
- [24] K. Sezawa and K. Kanai, "The range of possible existence of Stoneley waves." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 17 (1939), 1.
- [25] S. Homma, "On Rayleigh and Stoneley waves." *Journ. Meteor. Soc. Jap.*, (II) 17 (1939), 442—450 (In Japanese).
- [26] J.G. Scholte, "On true and pseudo Rayleigh waves." *Proc. Nederl. Akad. Wetensch.*, 52 (1949), 652—653. Cf. *Applied Mechanics Review*, 3 (1959), Rev. 1194.
- [27] L. Knopoff, "On Rayleigh wave velocities." *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 42 (1952), 307—308.

[III] Aeolotropy.

- [28] T. Matuzawa, "On the relative magnitude of the Preliminary and the principal portion." *Jap. Journ. Astro. Geophys.*, 4 (1926), 1.
- [29] T. Matuzawa, "Elastische Wellen in einen anisotropen Medien." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 21 (1943), 23.
- [30] S. Homma, "Suihei-tōhō-danseitai no Rayleigh-ha ni suite." *Kensin-Ziho*, 12 (1942), 1.
- [31] Alfred Rosenblatt, "Sur la propagation des ondes de Rayleigh dans les milieux transversalement isotropiques," *Revista de Ciencias, Lima*, (1940), 901-916.
- [32] R. Stoneley, "The seismological implications of aeolotropy in continental structure," *M.N.R.A.S., Geo Sup.* 5 (1949), 343.
- [33] Y. Satō, "Rayleigh-waves propagated along the plane surface of horizontally isotropic and vertically aeolotropic elastic body." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 28 (1950), 23.

[IV] Surface Layer.

- [34] A.E.H. Love, "Some problems of geodynamics." (1911).
- [35] K. Sezawa, "Dispersion of elastic waves propagated on the surface of stratified bodies and on curved surfaces." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 3 (1927), 1.
- [36] K. Sezawa and G. Nishimura, "Rayleigh-wave propagation along an inner stratum." *ibid.*, 5 (1928), 85—91.
- [37] B. Gutenberg, "Theorie der Erdbebenwellen..." *Handbuch d. Geophys.*, 4 (1929), 92.
- [38] K. Sezawa, "On the transmission of seismic waves on the bottom surface of an ocean." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9 (1931), 115.
- [39] E. Meissner and G. Krumbach, *Handbuch der Exp.-Phys.*, 25, Geophysik (1931), 460.
- [40] K. Sezawa and K. Kanai, "Reflection and refraction of seismic waves in a stratified layer." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 10 (1932), 805—816.
- [41] A.W. Lee, "The effect of geological structure upon microseismic disturbances." *M. N.R.A.S., Geo. Sup.* 3 (1932), 83.

- [42] T. Suzuki, "Amplitude of Rayleigh waves on the surface of a stratified medium." Bull. Earthq. Res. Inst., 11 (1933), 187.
- [43] K. Sezawa and K. Kanai, "On the propagation of waves along a surface stratum of the earth." *ibid.*, 17 (1934), 269.
- [44] K. Sezawa and K. Kanai, "Discontinuity in dispersion curves of Rayleigh wave." Proc. Imp. Acad., 11 (1935), 13—14.
- [45] K. Sezawa and K. Kanai, "Periods and amplitudes of oscillations in L- and M-Phase." Bull. Earthq. Res. Inst., 13 (1935), 18.
- [46] K. Sezawa and K. Kanai, "Discontinuity in the dispersion curves of Rayleigh waves." Bull. Earthq. Res. Inst., 13 (1935), 237.
- [47] K. Sezawa and K. Kani, "The M_2 seismic waves." *ibid.*, 471.
- [48] K. Sezawa and K. Kanai, "On the free vibrations of a surface layer due to an obliquely incident disturbance." Bull. Earthq. Res. Inst., 15 (1937), 377.
- [49] G. Nishimura and T. Takayama, "The vibration due to obliquely incident waves of a surface stratum adhering closely to the subjacent medium, and the properties of its resonance condition." *ibid.*, 394.
- [50] R. Stoneley, "Surface-waves associated with the 20° discontinuity." M.N.R.A.S., Geo. Sup., 4 (1937), 39—43.
- [51] K. Sezawa, "Anomalous dispersion of elastic surface waves." Bull. Earthq. Res. Inst., 16 (1938), 225.
- [52] K. Sezawa and K. Kanai, "Anomalous dispersion of elastic surface waves. II." *ibid.*, 683.
- [53] K. Sezawa and K. Kanai, "The requisite condition for Rayleigh-waves, for transmission through an inner stratum of the earth." Bull. Earthq. Res. Inst., 17 (1939), 179.
- [54] G. Nishimura and T. Takayama, "The vibration due to an obliquely incident longitudinal wave of harmonic type of a surface stratum adhering closely to the subjacent medium, and the properties of its resonance conditions. (Second Paper), *ibid.*, 253.
- [55] G. Nishimura and T. Takayama, "Vibrations due to obliquely incident longitudinal waves of shock type of a surface-layer, of an elastic earth's crust." (I) *ibid.*, 308.
- [56] G. Nishimura and T. Takayama, "Stationary vibrations due to an obliquely incident transversal wave of harmonic type of the surface-layer of an elastic earth's crust." (First paper) *ibid.*, 319.
- [57] K. Sezawa and K. Kanai, "Dispersive Rayleigh-wave of positive or negative orbital motion, and allied problems." Bull. Earthq. Res. Inst., 18 (1940), 1.
- [58] K. Sezawa and K. Kanai, "The action of soil layers and the ocean as dynamic dampers to seismic surface waves, and notes on a few previous papers." *ibid.*, 150.
- [59] K. Sezawa and K. Kanai, "Dynamical absorption of the energy of Rayleigh-waves and Love-waves by weak surface layers." *ibid.*, 345.
- [60] K. Sezawa and K. Kanai, "On the propagation of Rayleigh-waves in dispersive elastic media." Bull. Earthq. Res. Inst., 19 (1941), 548.
- [61] K. Kanai, " M_2 -Zisin-ha ni tuite." Zisin, 15 (1943), 193.
- [62] F.G. Scholte, "The range of existence of Rayleigh and Stoneley waves." M.N.R.A.S.,

G o. Sup. 5 (1947), 120—126.

[63] S. Homma, "Rayleigh-waves of higher order in a stratified surface of the ground." *Kenkyū-Sokuhō*, 25 (1947), 12—16. (In Japanese).

[64] K. Kanai, "On the M_2 -waves (Sezawa waves)". *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 29 (1951), 39.

[65] H. Kawasumi and I. Yamashita, "Rayleigh waves propagated upon doubly stratified medium." *Monthly Meeting of the Earthq. Res. Inst.* March, 1940.

[66] G.Y. Fu, "Studies on seismic waves: II. Rayleigh waves in a superficial layer." *Geophys.*, 11 (1946), 10—23.

[67] Y. Satō, "Mathematical study of the propagation of waves upon stratified medium. (2)" *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 29 (1951), 21—38.

[V] Plate.

[68] Lord Rayleigh, "On the free vibrations of an infinite plate of homogeneous, isotropic elastic matter." *Lond. Math. Soc. Proc.*, 20 (1889), 225—234. *Collected Papers* III, 249.

[69] H. Lamb, "The flexure of an elastic plate." *Lond. Math. Soc. Proc.*, 21 (1891), 70—80.

[70] H. Lamb, "On waves in an elastic plate." *Proc. Roy. Soc. London*, 93 (1917), 114.

[71] K. Sezawa, "On the accumulation of energy of high frequency vibrations of an elastic plate on its surface." *Proc. 3rd Intern. Congr. for Applied Mechanics* (Stockholm 1930) 3, p. 167.

[72] K. Sezawa, "Sindōgaku." (1932), 155.

[73] M. Ewing and A. P. Crary, "Propagation of elastic waves in ice." Part I. *Joun. Appl. Phys.*, 5 (1934), 165. Part II, *ibid.*, 181.

[74] C.Y. Fu, "Studies on seismic waves: I. Reflection and refraction of plane waves." *Geophys.*, 11 (1946), 1—9.

[75] Y. Satō, "Study on surface waves II. Velocity of surface waves propagated upon elastic plates." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 29 (1951), 223.

[76] A. Schoch, "The transmission of waves through plates." *Acustica*, 2 (1952), 1—17 (In German). Cf. *Phys. Abst.*, 1952. Rev. 5617.

[VI] Love-waves.

[77] A.E.H. Love, "Some problems of geodynamics." *Cambridge.* (1911), 176.

[78] R. Stoneley and E. Tilotson, "The effect of a double surface layer on Love waves." *M.N.R.A.S., Geo. Sup.*, 1 (1927), 521.

[79] R. Stoneley, "The dispersion of waves in double superficial layer." *ibid.*, 527.

[80] T. Mattzawa, "Propagation of Love-waves along a doubly stratified layer." *Proc. Phys.-Math. Soc. Jap.*, (iii), 10 (1927), 25.

[81] R. Stoneley, "On the apparent velocities of earthquake waves over the surface of the earth." *M.N.R.A.S., Geo. Sup.*, 3 (1935), 262—271.

[82] R. Stoneley, "Love waves in a triple surface layer." *M. N. R. A. S., Geo. Sup.*, 4 (1937), 43.

[83] H. Menzel, "Dispersion von seismischen Oberflächenwellen nach Registrierungen in Kopenhagen und Gross Raum." *Beitr. z. Geophys.*, 54 (1939), 348.

- [84] Y. Satô, "Study on surface waves. I. Velocity of Love-waves." Bull. Earthq. Res. Inst., 29 (1951), 1.
- [85] Y. Satô, "Study on surface waves III. Love-waves with double superficial layer." *ibid.*, 435.
- [86] Y. Satô, "Study on surface waves IV. Equivalent single layer to double superficial layer." *ibid.*, 519.
- [87] Y. Satô, "Nomogram for the phase velocity of Love-waves." Bull. Earthq. Res. Inst., 31 (1953), 81.
- [VII] **Heterogeneous.**
- [88] E. Meissner, "Elastische Oberflächenwellen mit Dispersion in einem inhomogenen Medium." Vierteljahr. Natur. Forsch. Ges. Zurich, 67 (1921), 181.
- [89] E. Meissner, "Elastische Oberflächen Querwellen." Verhand. 2 Intern. Kongr. f. Tech. Mech., Zurich, (1926), 137.
- [90] K. Aichi, "On the transversal seismic waves travelling upon the surface of heterogeneous material." Proc. Phys-Math. Soc. Jap. (iii), 4 (1922), 137—142.
- [91] H. Jeffreys, "The effect on Love waves of heterogeneity in the lower layer." M. N. R.A.S., Geo. Sup., 2 (1923) 101.
- [92] H. Jeffreys, "The surface waves of earthquakes." *ibid.*, 3 (1935), 253—261.
- [93] T. Matuzawa, "Observation of some recent earthquakes and their time distance curves." Bull. Earthq. Res. Inst., 6 (1929), 211.
- [94] K. Sezawa, "A kind of waves transmitted over a semi-infinite solid body of varying elasticity." Bull. Earthq. Res. Inst., 9 (1931), 310.
- [95] H. Honda, "Hu-Kinsitu Danseitai no Hyōmen ni tutawaru Rayleigh-gata Hadō ni tuite." Kishō-syūsi, (ii) 9 (1931), 237—244.
- [96] R. Stoneley, "The transmission of Rayleigh waves in a heterogeneous medium." M. N.R.A.S., Geo. Sup., 3 (1934), 222—232.
- [97] C.L. Pekeris "The propagation of Rayleigh waves in heterogeneous media." Journ. Appl. Phys. 6 (1935), 133—138.
- [98] K. Sezawa and K. Kanai, "The rate of damping in seismic vibrations of surface layer of varying density or elasticity." Bull. Earthq. Res. Inst., 13 (1935), 484.
- [99] S. Sakuraba, "Propagation of Love-wave over a semi-infinite solid body of varying elasticity. (I) Geophys. Mag., 9 (1935), 211—214. (II) *ibid.*, 12 (1938), 167—171.
- [100] R. Yosiyama, "Hu-kinsitu kyū-zyō Danseitai no Love-nami." Zisin, 10 (1938), 272.
- [101] S. Homma, "Surface shear waves in heterogeneous media." Kenshin-Zihō, 10 (1940), 459—472. (In Japanese).
- [102] S. Homma, "Hu-Kinsitu Danseitai no Love-nami." Kishō-syūsi (ii) 18 (1940), 84—90.
- [103] James Wilson, "Surface waves in a heterogeneous medium." Bull. Seism. Soc. Amer. 32 (1942), 297.
- [104] S. Homma, "Hu-Kinsitu Baisitu no naka no nami no Henkei ni tuite." Kagaku, 18 (1948), 415.
- [105] Margery Newlands, "Rayleigh waves in a two-layer heterogeneous medium." M. N. R.A.S., Geo. Sup., 6 (1950), 109.

- [106] S. Homma, "On boundary shear waves at an inner zone with continuously varying properties and related problems for surface waves." *Geophys. Mag.*, 23 (1951), 25.
- [107] S. Homma, "Hu-Kinsitu Baisitu ni okeru Kyōkai-ha oyobi Yokonami-gata Hyōmen-ha ni tuite." *Kensin Zihō*, 14 (1950), 24—38.
- [108] Lord Rayleigh, "On Reflection of vibrations at the confines of two media between which the transition is gradual." *Proc. Lond. Math. Soc.*, 11 (1880), 51. Theory of sound I. p. 235.
- [109] S. Homma, "Kyōkai-sō ni okeru hadō no Hansha ni tuite." *Kensin Zihō*, 14 (1950), 47.
- [110] Sushil Chandra das Gupta, "Note on Love-waves in a heterogeneous crust laid upon heterogeneous medium." *Journ. Appl. Phys.*, 23 (1952), 1270—1277.

[VIII] Dispersive media.

- [111] Havelock, *Propagation of waves in dispersive media.* (Cambridge).
- [112] K. Sezawa and K. Kanai, "On the packet velocity of dispersive elastic waves of irregular form." *Bull. Earthq. Res. Inst.* 17 (1939), 208—232.
- [113] H. Jeffreys and B.S. Jeffreys, "Methods of Mathematical Physics". (Cambridge Univ. Press, 1946).
- [114] W.H. Munk, "Increase in the period of waves travelling over large distances..." *Trans. Amer. Geophys. Union*, 28 (1947), 198—217.
- [115] S. Homma, "On the propagation of dispersive waves." (I). *Journ. Meteor. Soc. Japan*, (ii) 26 (1948), 243—254. (II). *ibid.*, 27 (1949), 205—213. (III). *ibid.*, 185—192. (In Japanese).
- [116] W. H. Munk, "Note on period increase of waves." *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 39 (1949), 41—45.
- [117] S. Somma, "On the propagation of dispersive seismic waves." *Geophys. Mag.*, 22 (1951), 209.
- [118] C. Eckart, "The approximate solution of one-dimentional wave equations." *Rev. Modern. Phys.*, 20 (1948), 399—417.

[IX] Generation.

- [119] H. Lamb, "On the propagation of tremors over the surface of an elastic solid." *Phil. Trans.*, A 203 (1904), 1—42.
- [120] H. Nakano, "On Rayleigh waves." *Japanese Journ. Astro. Geophys.*, 2 (1925), 233.
- [121] H. Jeffreys, "On compressional waves in two superposed layers." *Camb. Phil. Soc. Proc.*, 23 (1926), 472.
- [122] K. Sezawa, "Propagation of Rayleigh-waves having a certain azimuthal distribution of displacement." *Proc. Imp. Acad.*, 4 (1928), 267.
- [123] K. Sezawa, "Further study on Rayleigh-waves having some azimuthal distribution." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 6 (1929), 1.
- [124] H. Nakano, "Rayleigh wave in cylindrical coordinates." *Geophys. Mag.*, 1 (1929), 255.
- [125] K. Sezawa and G. Nishimura, "Generation of Rayleigh-waves from an internal source of multiplet-type." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 7 (1929), 41.

- [126] K. Sezawa, "Periodic Rayleigh-waves caused by an arbitrary disturbance." *ibid.*, 193.
- [127] K. Sezawa, "Propagation of Love waves on a spherical surface and allied problem." *ibid.*, 437.
- [128] K. Sezawa, "Generation of Rayleigh-waves from a sheet of internal source." *ibid.*, 417.
- [129] K. Sezawa and G. Nishimura, "Dispersion of a shock in echoing- and dispersive-elastic bodies." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 8 (1930), 321.
- [130] H. Nakano, "Some problems concerning the propagations of the disturbances in and on semi-infinite elastic solid." *Geophys. Mag.*, 2 (1930), 189—348.
- [131] H. Jeffreys, "Generation of Love-waves in a two layer crust." *Beitr. z. Geophys.*, 30 (1931), 336.
- [132] T. Sakai, "On the propagation of tremors over plane surface of an elastic solid produced by an internal source." *Geophys. Mag.*, 8 (1934), 1. *Proc. Phys.-Math. Soc. Jap.*, 15 (1933), 291.
- [133] M. Muskat, "On refraction shooting." *Journ. Appl. Phys.*, 4 (1933), 14.
- [134] K. Sezawa, "Love waves generated from a source of a certain depth." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 13 (1935), 1.
- [135] K. Sezawa, "Relation between the thickness of a surface layer and the amplitudet of Love-waves." *ibid.*, 15 (1937), 577.
- [136] K. Sezawa and K. Kanai, "Relation between the thickness of a surface layer and the amplitudes of dispersive Rayleigh-waves." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 15 (1937), 845.
- [137] K. Sezawa, "Amplitudes of Rayleigh-waves with discontinuities in their dispersion curves." *ibid.*, 16 (1938), 1.
- [138] S. Syôno, "On the propagation of tremors over the plane surface of a semi-infinite perfect elastic solid." (I) *Geophys. Mag.*, 12 (1938), 67. (II) *ibid.*, 13 (1939), 1.
- [139] K. Sezawa and K. Kanai, "The formation of boundary waves at the surface of discontinuity within the earth's crust." (I) *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 16 (1938), 504—525. (II) *ibid.*, 17 (1939), 539—547.
- [140] T. Sakai, "Hadô-denpa Mondai ni taisuru Hukusosû-ron no Ooyô." I, II, III, IV. *Sindô*, 1 (1947), No. 1, 2, 3, 4.
- [141] T. Hirono, "Mathematical theory on shallow earthquakes." Part I. *Geophys. Mag.*, 18 (1948), 1. Part II, 19 (1949), 1.
- [141a] E. B. Lapwood, "The Disturbance due to a line source in a semi-infinite elastic medium" *Phil. Trans.*, A 242 (1949), 63—100.
- [142] Y. Satô, "Seismic focus without Rayleigh-waves." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 29(1951), 13.
- [143] Y. Satô, "Distribution of surface stress generating no Rayleigh-waves." *ibid.*, 495.
- [144] Y. Satô, "Study on surface waves VI. Generation of Love- and other type of SH waves." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 30 (1952), 101.

[X] Liquid coupling.

- [145] K. Sezawa, "On the transmission of seismic waves on the bottom suface of an ocean." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9 (1931), 115.

- [146] K. Sezawa and K. Kanai, "Microseisms caused by transmission of atmospheric disturbances." I. Bull. Earthq. Res. Inst., 17 (1939), 190—207. II. *ibid.*, 548.
- [147] M. Ewing and A.P. Crary, *cf.*, [73].
- [148] F. Press and M. Ewing, "A theory of microseisms with geological applications." Trans. Amer. Geophys. Union, 29 (1948), 163.
- [149] C.L. Pekeris, "Theory of propagation of explosive sounds in shallow water." Geol. Soc. Amer. Mem., 27 (1948).
- [150] J.L. Worzel and M. Ewing, "Explosive sounds in shallow water." *ibid.*
- [151] M. Ewing and J.L. Worzel, "Long range sound transmission." *ibid.*
- [152] F. Press and M. Ewing, "Propagation of explosive sound in a liquid layer overlying a semi-infinite elastic solid." Geophys., 15 (1950), 426—446.
- [153] M. Ewing and I. Tolstoy, "The T-phase of shallow-focus earthquakes." Bull. Seism. Soc. Amer., 40 (1950), 25—51.
- [154] M. Ewing, F. Press, and I. Tolstoy, "The Airy-phase of shallow focus submarine earthquakes." *ibid.*, 40 (1950).
- [155] F. Press and M. Ewing, "Theory of air-coupled flexural waves." Journ. Appl. Phys., 22 (1951), 892.
- [156] F. Press and M. Ewing, "Ground roll coupling to atmospheric compressional waves." Geophys., 16 (1951), 416.
- [157] F. Press, E.P. Crary, J. Oliver and S. Katz, "Air coupled flexural waves in floating ice." Trans. Amer. Geophys. Union, 32 (1951), 166—172.
- [158] K.E. Burg, M. Ewing, F. Press, and E. J. Stulken, "A seismic wave guide phenomenon." Geophys., 6 (1951), 594.
- [159] C.B. Officer, Jr. "Normal mode propagation in three layered liquid half-space." *ibid.*, 207—212.
- [160] H. Lamb, "On waves due to a travelling disturbance, with an application to waves in superposed fluids." Phil. Mag., 51 (1951), 387.
- [161] Don Lett, D. Linehan, S.J., and P.R. Berger, "Investigation of the T-phase." Bull. Seism. Soc. Amer., 41 (1951), 123.
- [162] N.A. Haskell, "A note on air-coupled surface waves." *ibid.* 295—300.
- [163] F. Press and M. Ewing, "Propagation of elastic waves in a floating ice sheet." Trans. Amer. Geophys. Union, 32 (1951), 673.
- [164] Y. Satô, *cf.* [67].
- [165] W.S. Jardetzky and F. Press, "Rayleigh wave coupling to atmospheric compression wave." Bull. Seism. Soc. Amer., 42 (1952), 135.
- [166] M.A. Biot, "The interaction of Rayleigh and Stoneley waves in the ocean bottom." *ibid.*, 81.
- [167] J. Coulomb and P. Molard, "Propagation des ondes seismiques T dans la mer des Antilles." *Annals de Geophysique*, 8 (1952), No. 2. Centre National de la Recherche Scientifique.

[XI] Horizontal distribution.

- [168] H. Nagaoka, "Stationary surface waves." Tokyo Sugaku-Buturigakkwai Kizi-Gaiyo,

3 (1906), 79.

- [169] H. Nagaoka, "Stationary surface tremors." Publ. Earthq. Invest. Commit., 22(1906), 17.
- [170] S. Higuchi, "On the propagation of a Love wave along some complex superficial layers of the earth." Tohoku Rika Hokoku, 16 (1930), 793. Zisin, 4 (1932), 271. (In Japanese).
- [171] S. Homma, "Tikei ga Hyōmen-sindō ni oyobosu Eikyō." Kensin Zihō, 11 (1940), 349.
- [172] S. Homma, "Tikei ga Hyōmen-sindō ni oyobosu Eikyō." (II) Yuruyaka narazaru Tikei. Kensin Zihō, 12 (1942), 17. (III) Love-nami kara yūhatu sareru Rayleigh-nami. *ibid.*, 24.
- [173] S. Homma, "Tihyō-bussitu no Suihei-hukinsitu ga Hyōmen-sindō ni oyobosu Eikyō." Kensin Zihō, 12 (1942), 37.
- [174] T. Matumoto, "Tikei ga Love-nami ni oyobosu Eikyō." Not published.
- [175] S. Homma, "Love waves in a surface layer of varying thickness." *Geophys. Mag.*, 24 (1952), 9.
- [XII] **Supersonic waves, surface layer, cylindrical surface waves, visco-elastic medium and others.**
- [176] K. Imoto, "Calculation of refraction and reflection of ultrasonic plane waves at solid boundary." *Denki-Sikenzyo Ihō*, 16 (1952), 148. (In Japanese).
- [177] K. Imoto, "Continuation of the above paper. *ibid.*, 540.
- [178] Y. Torikai, "Transmission of acoustic waves through a stratified solid medium." *Onkyō-Gakkai-Si*, 8 (1953), 21. (In Japanese.)
- [179] T. Matumoto, "Hu-renzoku Sō ni yoru P-nami no Tōka oyobi Hansya ni tuite." Monthly Meeting of the Earthq. Res. Inst., Sept. 1952.
- [180] K. Sezawa. cf. [35].
- [181] K. Sezawa, "propagation of Love-waves on a spherical surface and allied problem." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 7 (1926), 437.
- [182] R. Yosiyama, cf. [100].
- [183] M. A. Biot, "propagation of elastic waves in a cylindrical bore containing a fluid." *Journ. Appl. Phys.*, 23 (1952), 997—1008.
- [184] K. Sezawa, "Possibility of the free-oscillation of the surface-layer excited by the seismic-waves." *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 8 (1930), 1.
- [185] K. Sezawa and K. Kanai, "Possibility of free oscillation of strata excited by seismic waves." *ibid.*, 10 (1932), 273.
- [186] K. Sezawa and G. Nishimura, "Dispersion of a shock in echoing and dispersive-elastic bodies." *ibid.*, 8 (1930), 321.
- [187] R. Takahasi and K. Hirano, "Seismic vibrations of soft ground." *ibid.*, 19 (1941), 534. (In Japanese.)
- [188] C.W. Horton, "On the propagation of Rayleigh waves on the surface of a visco-elastic solid." *Phys. Rev.*, 85 (1952), 745.
- [189] H. Nagaoka, "Dispersion of seismic waves." *Tokyo Sugaku-Buturigakkwai Kizigaiyo*, 3 (1906), 44.

地震表面波の観測

*)

東大地震研究所 秋 間 哲 夫

(昭和 28 年 3 月 31 日受理)

Seismic Surface Waves

Tetsuo AKIMA

Earthquake Research Institute, Tokyo University.

(Received March 31, 1953)

The general sketch on the observation of the elastic surface waves was given.

1. Introduction.

2. Amplitude of Rayleigh wave.

3. Period of surface wave.

4. M_2 -wave.

5. Amplitude and epicentral distance.

6. Dispersion curve and crustal structure.

7. Airy phase.

8. Epilogue.

1. ま え が き

地震学の中で、地震波の観測と云う仕事のもつ重要性は今更云うまでもないことであるが、その中で、特に表面波の観測と云う分野が、他の P 波 S 波等実体波の観測と並んで、しかもそれとは独立に一つの研究テーマとして古くからかなり多くの論文を生んでいる。地震記象の中に、 P 波や S 波にやゝおくれで、明かにある一つの別な相が、特に遠地地震の記象の中に認められることに始めて気をつけたのは、ドイツの von Rebour-Paschwitz であるとされている¹⁾。之は Rayleigh 卿が、半無限弾性体の表面に沿つて、従来から知られていた二種の実体波とは全く別な波が伝わりうる可能性を理論的に指摘してから 10 年後のことであるが、実際の地球の場合には半無限体を仮定したこの波が観測されるとは思われず、之は後に (1911 年)、表面層のある場合を取扱つて A. E. H. Love が最初に理論的に見出した所謂 Love 波以後の、分散性の表面波であることは確かと思われる。がとにかく、20 世紀に入らぬ前に、つゞいて R. D. Oldham²⁾ や大森等³⁾ が、相ついで同様の相を他の遠地地震の記象上から認めたけれ共、それらが何れも Rayleigh の理論の期待に反して、横方向に大きな成分をもつていたり、上下と縦方向の振巾比が意外に小さかつたりして、この Rayleigh の理論は、観測の方では釈然としないものを当時は残していた様である。にも拘らずそれらの波の走時の様子から、之が従来の P 波や S 波とは違つて、地球の表面に沿つて伝わつて来たと考えられることが示される様になり、20 世紀に数年足をふみ込んだ頃から、急にこの波に関する極めて活潑な観測研究が行われ始めたのである。

表面波と云つても、別にこれそのものが震源からとび出す訳のものではなく、その卵は P 波

*) 本稿は、佐藤氏の前稿と同じく、1952 年秋の信州における地震学会での表面波に関するシンポジウムで (観測の部) として行つた講演の内容に加筆したものである。

や S 波に他ならないのであるが、特にこの波が地震学上に特別な興味をもたれて取扱われるのは、無論学問的な興味もあるけれども、その他に、 P 波や S 波が表面波と云う姿で生れ変つた時に見せるいくつかの特性が、地球物理学的にも大事な応用価値を呈供してくれる点にある。その特性の中の一つ、そして最も大きなものとして分散性がある。

分散性の Rayleigh 波は、1889 年に、表面に水の層をおくことによつて T. J. I'A. Bromwich⁴⁾ により数学的に見出され、又 Rayleigh 波とは別に、 SH 波がつくり出す、後に Love 波と名付けられた分散性の表面波が A. E. H. Love によつて理論的に発見されたのは 1913 年のことであるが、こう云う数学上からの予想とは別に、E. Rosenthal は 1905 年、Göttingen と Potsdam における計 25 ケの地震記象から、始めて表面波の速度がその周期によつて異なる点を明かにした⁵⁾。翌年、同様のことは Angenheister によつても認められ⁶⁾、しかもその後、更にこの分散性が、表面波の通つて来る径路によつても差があること⁷⁾、更には又大洋経路の方が大陸経路よりも表面波の速度が速い⁸⁾ 9) 10)。と云う様な事実が次々と認められ、同時に表面波に関する理論上の業績とも相まつて、こゝに表面波の分散の観測から、それが通つて来た領域の地下構造を推定しうる可能性が地震学者の注意をひくに至り、1924 年の Gutenberg の最初の試み¹¹⁾をきっかけとして、その後、この仕事が表面波観測研究史の主流となつて流れ出してゆくのであるが、この方面のことは後に概観することにして、先づ表面波に理論が期待すること他の諸特性が、観測の方で今までにどの程度に把握されて来ているか、を先に述べてみたい。

2. Rayleigh 波の上下・水平兩振巾の比について

古くは Galitzin¹²⁾ (1911 年) に始まり、C. Mainka¹³⁾、G. Angenheister⁸⁾、D. Leet¹⁴⁾、W. Rohrbach¹⁵⁾、D. S. Cardar¹⁶⁾ 等が夫々この値を観測から求めてはいるけれども、理論から云われる如く、この値は表面層のない場合の非分散性の Rayleigh 波の場合でも、地面のポアソン比 σ によつて違つてくるし、更に表面層がある場合には、 λ/H や μ'/μ (λ は Rayleigh 波の波長、 H は表面層の厚さ、 μ 、 μ' は夫々表面層及び下層の剛性率) にも関係して来る¹⁷⁾上に、実際の地面の振巾の算出には地震計の常数も考慮に入れねばならず、又第一に今までのこの種の観測が、果して純粹に Rayleigh 波だけを記録しえた結果であるかどうかとも疑問なので、少くとも現在までのところ、この種の観測結果を重視する必要は認められない、然しこの問題も、今後観測技術の進歩を待つて、丁度分散曲線から地殻構造がきめられる様に、 z/H と λ との関係を観測から求め、それを h と μ'/μ を parameter とした $z/H \sim \lambda$ の理論曲線と対比させることによつて、地殻の厚さ h や、 μ'/μ を推定出来る可能性もあるので、今後に興味を残した問題である。

唯一つ、この種の観測で見事だと思われるのは、最近アメリカの Magnolia 石油会社の実験地震学グループ (experimental seismic crew) に依つてなされた小爆破による Rayleigh 波の

観測であろう¹⁸⁾。彼等は5ポンドのダイナマイトの爆発による地震動を、50 ft 毎においた地震計で実に見事に記録し、それらに現われた Rayleigh 波に関して、今までなされたことのない細かい観測研究を行つている。この中では、直接今問題にしている z/H の測定はしていないけれども、例えば Rayleigh 波による地面の動きの軌跡が深さと共にどう変化するかをしらべて、深くなるにつれて楕円が段々細長く且つ小さくなつて遂には上下動だけとなり、更に深くなると逆転し始めることを観測したり、或いは地上における楕円軌跡の軸が、サイクル毎に震源とは反対の方向に傾いていくことや、(第1図)

H. Jeffreys が理論から予期した通り¹⁹⁾、震源の深さが増すにつれて、Rayleigh 波の地上における上下動振巾が減少してゆく割合が、震源の深さを一定にしたとき観測点の深さを増すにつれて上下動振巾が減少していく割合と同じであることを見出すなど、極めて興味のある数々の結果を得ている。この野外実験は、実際の自然地震の観測からは仲々捕捉しがたい表面波に関する諸性質を観測面からたしかめるための有力な方法を指示するものと云えるであろう。

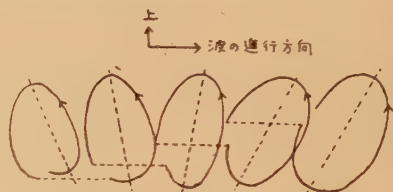


Fig. 1. Rayleigh 波によつて地面の動く運動軌跡。各サイクル毎に位置をずらしてかいてある[Dobrin and others (1951)]

3. 震央距離による周期の伸び

表面波の周期が、震央距離の増加につれて長くなる傾向があると云う事実の観測は、古いものでは J. B. Macelwane のカリフォルニア地震の記象からの $1.4 \times 10^{-8} \text{ sec/cm}^{20)}$ や、P. Byerly のモンタナ地震による $1.4 \sim 1.8 \times 10^{-8} \text{ sec/cm}^{21)}$ 等がある。又 B. Gutenberg は、海上のうねり、脈動、地震波、及び爆発により生ずる音波等広い範囲の波動現象について、上記の傾向を観察している²²⁾。又、やゝおくれて、やはり同じ Gutenberg は、彼が前の論文で導いた $T^2 = T_0^2 + \alpha x/v^3$ なる式に基いて、表面波についてはこの α は大体 $10^{10} \text{ cm}^2/\text{sec}$ となることを求め、表面波の後部について周期と速度とを観測し、上の式から dT/dx を各周期毎に求めて、例えばある観測点で 10 秒の波の dT/dx は $1.2 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 、20 秒の波については $0.6 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 等の値を出している²³⁾。

一般に粘弾性の固体中をつたわる弾性波の波形は、震央距離がますます共にだんだん長く平滑化することは、殊に数理的に解明されているところであり²⁴⁾、最初、表面波に関しても周期の伸びの原因を土地の粘性だけに負わせようとする多くの試みがなされた²⁵⁾。然し、一方表面波の分散現象そのものが周期を伸ばしていることも又事実であり²⁶⁾、C. G. Rossby も又この考えに基づいて、1945 年数理的に、ある Δ の場所でとられた記録から観測される周期の時間的变化 $\partial T/\partial t$ と、 Δ による周期の伸び dT/dx との間に

$$\frac{dT}{dx} = \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{U} \right) \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3-1)$$

(c , U は夫々表面波の位相及び群速度)

と云う関係式を導き出した²⁷⁾。W. H. Munkはこの理論式を地震の表面波、津波、波浪に用いて観測結果とかなりよく合うことを示しているが²⁸⁾、例えば地震の表面波については、前に述べた 1926 年の Byerly の論文に用いられたモンタナ地震のアメリカ国内の記象中から 4 つをえらんで、各観測点毎に $T \sim t$ 図をつくつて、それを平均して各周期毎に $\partial T / \partial t$ をしらべ、又別に分散曲線を書いて c , U を求め、上の Rossby の式から dT/dx を計算し、周期 10 秒では 0.9×10^{-8} cm/sec, 12 秒では 2.3×10^{-8} , 14 秒では 4.8×10^{-8} 等と算出し、Gutenterg の結果とは逆に、周期が長くなる程伸びの割合が大きくなる結果を出している。又 J. T. Wilson も、1933 年 8 月の南太平洋地震の記象中から純海洋径路のものだけ 6 つをえらんで、60 秒の周期の波に対し Rossby の式を使つて dT/dx を 2.3×10^{-8} sec/cm と計算し、一方実測の方と比較し、大体合うことを示した²⁹⁾。

然し最近 Munk は上の (3-1) 式は、正弦波的な波を仮定して出されたものであるから、表面波の後の方の部分には適用出来るが、周期の変化がかなり顕著な始まりの部分に対しては、よくあてはまらないとし、新たに

$$T = 4.6 \left(\frac{3}{2} \right)^{1/3} V_0^{-1} \left(\frac{h\mu_1}{\mu_0} \right)^{2/3} \left(\frac{V_0^2}{V_1^2} - 1 \right)^{2/3} x^{1/3} \quad (3-2)$$

(V_1 , V_0 , μ_1 , μ_0 は夫々上下層に関する S 波の速度及び剛性率, h は上層の厚さ)

なる式を導き、上にのべた Wilson の場合を例にとつて、この式の方が、はるかによく観測結果と合うことを示している³⁰⁾。

4. M_2 -波の観測

1935 年、妹沢・金井の二人は、地表層がある場合に、その上下層の弾性が著しく異なる場合には従来の Rayleigh 波の他に別種の Rayleigh 波がたつたわりうることを理論的に指摘した³¹⁾。この新しく理論的に見出された Rayleigh 波は M_2 -波又は Sezawa 波とよばれることは衆知のことであるが、この M_2 -波に関する理論的な追求は、更に同じ二人によつてつゞけられ、同じ年に更にこの M_2 波の中には、その群速度が普通の Rayleigh 波の最高群速度よりも速いもの (M_2 波) とおそいもの (M_2' 波) の二つがあること、又之等の波は、上下層の弾性常数の比が、実際の地球の場合程度でも存在しうることなどが明かにされた。妹沢・金井は、この理論的研究と同時に、昭和 9 年 1 月 15 日の印度地震の東京における記象から、理論の要求する特性をもつ M_2 , M_2' 波を見出し³²⁾、更に金井は 1943 年に、関東地方の 10 ケ所で観測した二つの近地地震の記象中から 0.91 km/sec の速度をもつ、周期 4 秒前後の波を見出し、

之等の値が、それまでに知られている関東地方の表面層と下層の S 波の速度等を入れた場合に M_2 -波に関して理論から期待される速度や周期とかなりよく合うことを確めている³³⁾。又最近では、本間と西沢がやはり M_2 や M_2' 波を観測で認める等³⁴⁾、この波の観測はもっぱら日本だけで行われている。

最近、金井は、Love 波、分散性 Rayleigh 波、それに M_2 波の群速度に関する数値的研究を行い³⁵⁾、記象の上で極小群速度に相当する場所での波の周期は、Love 波、Rayleigh 波、 M_2 -波の順に小さくなり、しかも各々の差違が相当あること、又 μ'/μ がある程度大きい場合には、 M_2 -波の極小群速度の値と、その時の波の周期とは殆んど一定になる、等、 M_2 -波の観測の目安をつけるのに便利な結果を出しているので、今後 M_2 -波の観測報告も今まで以上にふえることと思われる。

5. 表面波の振巾の距離による減衰

表面波をゆりうごかす強さは、無論 $\Delta=90^\circ$ までは、震央から遠ざかるにつれて波面の拡大のために弱くなるが、この他に土地による吸収や、垂直方向の不連続面があればそこでの反射・屈折や、分散による波形の平滑化などのために弱くなつてゆく。B. Galitzin は、この後の原因に依る部分をひつくるめて k で表わし、之を減衰係数 (Extinktionstaktor) とよび、

$$J_1 = \frac{J_0}{r} e^{-k\Delta} \quad (5-1)$$

と云う式を導いた³⁶⁾。ここで J_0 はある常数、 J は震央距離 Δ における表面波の最大動の部分のもつエネルギー、 r は震源から震央距離 Δ なる地点に至る円の半径、(従つて今地球の半径を r_0 とすれば $r=r_0 \sin \Delta$) である。

J はエネルギーであるから、観測される表面波の最大振巾 a とその周期 T とに対して

$$J = \text{常数} \times a^2 / T^2 \quad (5-2)$$

で結びつけられる。そこで今、震源から地球を逆に廻つて観測点に到達した表面波 W_2 、或いは順廻りでしかももう一廻り地球を廻つてから観測点に到達した波 W_3 ……等を考えると、

$$W_2 \text{ に関しては } J_2 = \frac{J_0}{r} e^{-k(40000-\Delta)} \quad (5-3)$$

$$W_3 \text{ に関しては } J_3 = \frac{J_0}{r} e^{-k(40000+\Delta)} \quad (5-4)$$

..... etc.

となるから、例えば (5-1) と (5-3) を使い、(5-2) を考慮すれば、

$$\left(\frac{a_1}{T_1} \right)^2 \left(\frac{T_2}{a_2} \right)^2 = e^{k(40000-2\Delta)} \quad (5-5)$$

となり、之から

$$k=4.6 \frac{\log\left(\frac{a_1}{a_2}\right) - \log\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{40000 - 2\Delta},$$

(5-1) と (5-4) を使えば同様にして、

$$k=4.6 \frac{\log\left(\frac{a_1}{a_3}\right) - \log\left(\frac{T_1}{T_3}\right)}{40000},$$

となる。

最近では全く行われていないけれ共、表面波の観測史の初期に於ては、この式を用いて、 M 、 W_2 、 W_3 、……等の最大振巾と周期とを測つてこの k を出し(こうすれば観測点の土地の影響は相殺される)、それによつて、震央と観測点とを結ぶ地域の地表面の性質を比較検討しようとする試みが盛んになされた。先づ G. Angenheister は Göttingen でとつた 6 つの地震に関して M と W_2 を用い⁶⁾、Galitzin は 1908 年のメシナ地震や、1910 年の地震の M と W_2 を使つて³⁶⁾、又 O. Meissner は 1911 年から 1913 年までの 24 ケの地震について³⁷⁾、夫々 k の値を測定した。然し中には、K. Wegner の様に、こうして出した k の値は、場合によつてかなりまちまちに出てくることを指摘する人も現われて³⁸⁾、G. Angenheister は 1921 年、改めて大陸径路のもの、太平洋径路のものについて別別に、しかも水平動と上下動の区別をもつけた上で、周期別にこの k の測定を行い、その結果 k は Rayleigh 波を使つても Love 波を使つても殆んど変りなく、径路については、大陸では大きく、海洋では小さく出ることを確めた³⁹⁾。彼の場合には、用いられた周期は 20 秒から 31 秒迄で、この範囲では周期による k の差は余り判然としたものがなかつたけれ共、更に B. Gutenberg はこの仕事を引つぎ、長周期の表面波の観測からは k は径路に関せずほぼ一定で 0.00012 ± 0.00002 位であるが、20 秒前後の短い周期では、径路別の差が現れてきて、例えば次表のようになることを示した³⁹⁾。

径 路	k
ヨーロッパ大陸	0.00015~0.00020
大西洋+アメリカの一部	0.00010~0.00015
太平洋+海岸線沿い	0.00080~0.00050
太平洋+北極地方	0.00015~0.00025
トンガ→南極地方→アフリカ東北部→ヨーロッパ	0.00025~0.00035

その他 1917 年 6 月のエピア沖の大地震や、1929 年の関東大地震などで調べても何れも太平洋周辺を横ぎる表面波は、振巾自身の減衰の大きいことが認められ、上の様にして k を出し、確かに他のに比べて大きく出る。このことは、太平洋周辺に於ては、垂直方向に不連続面が存在していて、その面で表面波が反射したり屈折したりするために、そこでエネルギーの

多くの部分が失われるためと解釈された。

上に用いられた (5-1) 式の k の中には、表面波の分散による影響も含まれている訳であるが、B. Gutenberg と C. F. Richter は、この分散に依る部分を k から引き離して、 k に吸収係数としての特性をよりはつきりもたせるために、H. Jeffreys の数理的研究所¹⁹⁾に基づいて (5-1) 式の代りに

$$J = \frac{J_0 e^{-k\Delta}}{r\sqrt{\Delta}}$$

特に表面波の群速度が極小値をとる部分の波に対しては

$$J = \frac{J_0 e^{-k\Delta}}{r\sqrt[3]{\Delta}}$$

とし、之から (5-5) 式の代りに

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{T_2}{T_1} e^{-k(\Delta_2 - \Delta_1)/2} \sqrt{\frac{\sin \Delta_1}{\sin \Delta_2}} \sqrt[4]{\frac{\Delta_1}{\Delta_2}}$$

特に群速度極小部の波に対しては

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{T_2}{T_1} e^{-k(\Delta_2 - \Delta_1)/2} \sqrt{\frac{\sin \Delta_1}{\sin \Delta_2}} \sqrt[6]{\frac{\Delta_1}{\Delta_2}}$$

として、今度は太平洋周辺を横ぎるものは除外して種々の地域を通る表面波について k の値の比較を行い、ほぼ前と大差のない値を各地域に関して得ている⁴⁰⁾。

その後、観測の方でこの問題を主としてとり上げた論文はないが、J. T. Wilson は、後に述べる 1940 年の論文の最後で、大西洋の南部に起つた地震を、ヨーロッパ、アフリカ、アメリカ等の 17 ケ所でつた記象を全部積分して変位記象に直した上で、Love 波の振巾を調べ、震源からの方角によつて異なる様子は見えるが、はつきりはしないこと、近接した観測点毎に似た大きさの振巾が見出されることは再検討を要すると述べた後、海洋経路のものは Love 波の分散性が少ないので、この経路のものだけについて、表面波の振巾に関する普通の式

$$a = \frac{a_0}{\sqrt{\sin \Delta}} e^{-k\Delta}$$

を用いて $k = 0.0001$ と出している⁴¹⁾。

更に最近では、F. Howell が、ロサンゼルス近くで行つた小爆破による野外実験で Rayleigh 波を観測し、

$$k = \frac{1}{\Delta_2 - \Delta_1} \log \frac{a_1 \Delta_1^{1/2}}{a_2 \Delta_2^{1/2}}$$

なる式に基いて k を算出し、 $0.0036/\text{m}$ と出している⁴²⁾。

6. 分散曲線と地殻構造

B. Gutenberg は 1924 年、その時までには O. Meissner, G. Angenheister, E. Tams, S. W.

Visser 等によつて認められて来た表面波の分散曲線が径路によつて異なると云う観測事実と、Love 波や Rayleigh 波の分散に関する数理的研究の発展とに基づいて、始めて表面波の分散の観測から、地殻の構造を推定すると云う試みを行つた¹¹⁾。彼はまづ 200 近く地震の記象を集め、それらを波の径路別に分類し、表面波の観測される記象の成分から Love 波と Rayleigh 波と思われる位相について周期別に速度をしらべ、各径路毎に分散の状態をプロットした。そして一方、その頃までに P 波を使つて求められていた地殻構造に関する資料に基づき、上下層の S 波の速度を夫々 3.2 km/sec, 4.4 km/sec, 又剛性率の比の二乗を 0.18 とおき、上層の厚さとして 30 km, 60 km, 120 km の三つの場合の Love 波に関する分散曲線を理論式から求め、それらと観測から求めた各径路毎の分散の状態とを比較して見たのである。(第 2 図)そしてこの比較から、先づヨーロッパ大陸、アメリカ大陸及び大西洋の地殻の厚さとして夫々 55~60 km, 50 km 及び 20~30 km と云う値を出した。唯、太平洋径路の分散状態だけは、以上三つの分散曲線の何れともあてはまらなかつたが、之に対しては、剛性率及び密度が夫々 $\mu = \mu_0(1+az)$, $\rho = \rho_0(1+bz)$ なる形で深さと共に増す層のない地殻構造に対して、Meissner が求めた Love 波に関する分散曲線⁴³⁾を用い、 v_0 を 4.0 km/sec とおいたものが比較的この場合の分散の状態にあてはまるとし、従つて太平洋には層がない、と結論したのである。

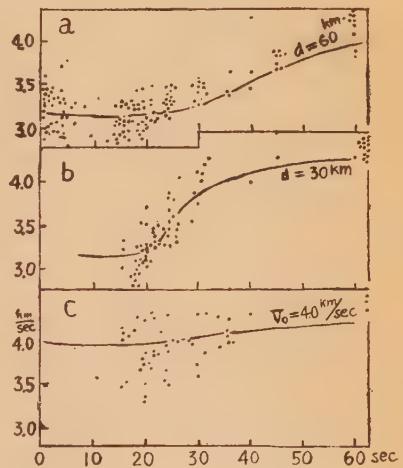


Fig. 2. a はヨーロッパ大陸, b は大西洋, c 太平洋, 実線は群速度に直してかいた理論式からの分散曲線。

[Gutenberg (1925)]

彼が観測から求めた分散を示す点は、図でも分る通り、かなりのばらつきを示しており、殊に太平洋に関する点のばらつきを $v_0 = 4.0$ km/sec としたばあいの Meissner の曲線にあてはまるとすることは、相当に無理の様である。之はおそらくは、表面波以外に混入している別な波の周期をも含めて測定している為と思われ、又彼がこの分散の観測から出した上記の夫々の地域における地殻構造も、今日の知識からすれば、多少の変更を必要とすることは止むをえない。とは云え、豊富な観測の蒐集に基づく規模の大きなこの最初の試みは、之を端緒として次々と年を追つて進展する表面波に関する観測研究史を飾るものとして大きな意義をもつものであろう。Stonley と Jeffreys の二人が、一方では表面波に関する数理的な研究を發展させつゝ、或いは Gutenberg の観測資料を借り^{19) 44) 45)}、或いは二つのアジア地震のヨーロッパにおける記象から¹⁶⁾、Love 波の分散観測に基づいて、一層或いは二層の存在を仮定して、ヨーロッパ大陸の地殻構造を調べたのもこの直後のことである。(ヨーロッパ大陸の地殻構造に関しては、後に

第 1 卷

region	Pacific Ocean					Atlantic Ocean		
author	Byerly 1930	Sezawa 1935	Bullen 1939	Wilson 1940	Delisle 1941	Ewing Press 1950	Alautian	Polinesia
depth	0	0	0	0	0	0	0	0
0	(4.0)	(3.2)	(3.6)	(4.0)	(3.3)	—	—	—
km	—	7	—	—	—	—	—	—
20	20	(4.5)	26	25	20	—	—	—
40	40	30	—	—	—	—	—	—
60	(4.7)	(4.5)	(4.4)	(4.5)	(4.4)	—	—	—
Surface wave	Q	Q, R	R	Q	R	R	Q	Q

region	Indian Ocean		Europe					Africa	America		South eastern Asia	
author	Wilson 1840	Ewing Press 1950	Guten- berg 1924	Jeffreys 1925	Stoneley 1928	Rohrbach 1932	Jeffreys 1935	Sezawa 1935	North	South	Sea of Japan	East China Sea
depth												
0	(4.0)			(granite)	(3.15)	(3.1)	(3.1)					
km				15	13		12		(granite)			(3.2)
20	25	(4.2, $\sqrt{0.0004z+1})/(1+0.0001z)$)	(3.2)	(3.9)	20		(3.7)		20	(3.6)	(3.4)	14 (3.4)
				(basic)	26	26~28						26
40		(4.45)		or			40		30	30 (4.4(1+z/3000))		
				(ultra- basic)	(4.2)	(4.1)	(4.5)		(Gabbro)	55 (4.6)	(4.2)	(4.2)
60	(4.5)		60 (4.6)						60			
Surface wave	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q, R	Q	Q	Q, R	Q, R

Remarks (): Velocity of S wave (km/sec), Q: Love wave, R: Rayleigh wave

Stoneley 自身の議論がある⁴⁷⁾以下今までに多くの人達によつて出された世界の各地域における地殻構造の推定の結果を一括して示すと第1表の様になる。

初期のものとしては、W. Rohrbach と D. S. Cardar の論文は注目していいであろう。即ち前者は、同じ場所で観測しても、表面波が通る海洋径路の長さの割合の違いで分散の状態が異つてくるところを見出した最初のものであるが、更に彼は、Rayleigh 波について z/H を測つたり ($0.8 \sim 3.0$)、 v_R/v_L を調べたり ($0.89 \sim 0.96$ 、理論ではボアツソン比 $1/4$ として 0.91)、波長別に走時曲線を作つたり、同じく波長別に震央距離と速度との関係を求めたりしている¹⁵⁾。又後者は、1910 年以降の計 378 ケにのぼる多くの地震を Berkley 及び San Francisco 湾の観測点でとつた記象から、純太平洋径路のものと、純大陸径路のものに関して Love 波に関する分散の状態を比較しているのであるが、先づ注意されるのは、各径路共、周期毎に走時を調べて、その傾きから Love 波の速度を出して分散曲線を出していること、(之は位相速度に関する分散曲線と考えられる)。次には、二重層をもつた構造でも、そこを通る Love 波の分散はその波長が層の厚さに比べて十分長い様な波に対しては、その二つの層を合わせただけの厚さをもち、それらの平均的な弾性常数をもつた単一層の構造におきかえても同じであると云う H. Jeffreys の考えに基づいて、観測された Love 波の波長と層の厚さとの関係を考へて地殻構造をきめていふと云う点である。

即ち Jeffreys によると、その内部での剛性率、密度、S 波の速度が夫々 $\mu_1, \rho_1, v_1; \mu_2, \rho_2, v_2$ で厚さが H_1, H_2 である様な二重層は、その波長が之等の厚さに比べて十分長い様な Love 波に対しては、その特性方程式の中に省略しうる項が生じて、結局

$$v = \frac{\mu_1 H_1 + \mu_2 H_2}{\rho_1 H_1 + \rho_2 H_2}, \quad \rho = \frac{\rho_1 H_1 + \rho_2 H_2}{H_1 + H_2}$$

で与えられる S 波の速度と密度とを内部でもつ単一層構造と同じ効果をその分散曲線に与えることになる。Cardar は之を更に三重層の場合にも拡張して考へているが、例えば二重層の構造をもつた径路にそつて Love 波が伝わる場合に、 H_1 とは comparable でも、 $H_1 + H_2$ よりはずつと短い波長をもつ Love 波は、その波長に比べて十分深いところに存在する二番目の不連続面の影響はうけずに、あたかも第二層が無限の深さまでつゞいていふ場合と同じ分散を示すが、 $\lambda > H_1 + H_2$ である様な波は、逆にその波長に比べてずつと浅いところにある一番目の不連続面の影響は殆んどうけず、上に示した v, ρ をもつ $H_1 + H_2$ なる厚さの単一層構造に基づく様な分散を示すであろうから、Love 波の分散曲線は、波長の短い部分と長い部分で夫々異つた二つの分散曲線上にのるだろうと云うのである。そして前述の多くの地震の Love 波の分散状態を観測し、アメリカ大陸とアリユーション径路のものについての位相速度に関する分散状態がこの様な考へ方を立証していることを示し、それから之等の領域の二重層の構造を

求めている。然し、層の厚さに比べてはるかに波長の短い波や長い波の部分ならいざ知らず、層の厚さと comparable な波長の部分の点までがこの二つの異つた分散曲線上にのることを示しているのはおかしい話であり、もしも実際の構造が二重層であるならば分散の点はやはり二重層の場合の一本の分散曲線上にのるべき筈のものである。

この翌年出された妹沢の論文は、Love 波と Rayleigh 波両方の分散曲線から地殻の構造を求めている点で注目されるものである⁴⁹⁾。即ち妹沢は、1929 年に松沢が行つた地震波の走時に関する研究で用いた表面波に関する資料⁵⁰⁾に基づいて、太平洋と大陸径路のものについて Love 波と Rayleigh 波の分散の状態を別々に調べ、

$$R_p \text{ からは } V_s = 3.2 \text{ km/sec, } V_s' = 4.5 \text{ km/sec } H = 9 \text{ km}$$

$$Q_p \text{ " " " " " } H = 5 \text{ km}$$

$$R_c \text{ " } V_s = 3.1 \text{ km/sec, } V_s' = 3.7 \text{ km/sec } H = 12 \text{ km}$$

$$Q_c \text{ " } V_s = 3.7 \text{ km/sec, } V_s' = 4.5 \text{ km/sec } H = 40 \text{ km}$$

と云う値を出した。ここに R_p , Q_c 等は夫々太平洋径路の Rayleigh 波、大陸径路の Love 波の意味である。そしてこの結果から、太平洋の上層の厚さとして 9 km と 5 km を平均した 7 km を与えた。大陸の方では R で出したものと Q で出したものとは夫々そこを通る S 波の速度も又厚さも違つて出て来ているが、之に対しては、大陸の方は二層から成つており、 R の方は Energy が表面のみに集中するために下層の影響は余りうけないに反して、 Q の方は強さが正弦波的に地面の内部に分布するために、相当深いところの不連続面の影響もうける結果であるとして、ヨーロッパ大陸と太平洋の地殻構造を第 3 図の如く推定した。

斯うしてだんだんと多くの学者達によつて、各大陸及び海洋を通る表面波の分散に関する知識がつまれて来た⁴⁰⁾ことは、同時に一部は大陸を、一部は海洋をつたわつて来る様な表面波の観測に対しても、既知の資料から大陸或いは海洋の部分の走時を引き去ることによつて、純大陸又は純大洋径路の分散曲線を観測の方から求めうる可能性を生じ、このことは更にまだ分つていない地域の地下構造を表面波の観測からきめうる機会を増したのである。例えば J. T. Wilson の 1940 年の論文には、その最初の試みがなされている⁴¹⁾。更にこの論文では、地震計の常数による影響をさけるためと、表面波の周期の測定を困難ならしめる短周期の波を記象上から除くために、原記象を積分して変位の記象に直した上で、表面波の分散を調べるなどの注意

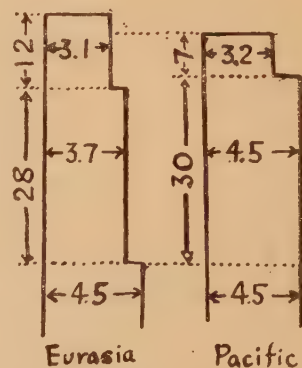


Fig. 3. 図の中にかいてある数字は夫々の層内を走る S 波の速度で、層の中は之等の速度に比例してとつてある。横にかいてある数字は、夫々の層の厚さを km で示したもの。

[Sezawa (1935)]

も払われている。即ち彼は、1933 年 8 月 28 日の南部太平洋の地震を、ホノル、アメリカ、ニュージーランド、ヨーロッパ、アジアに亘る 17 ケ所でとつた記象について、上にのべた様な方法で Love 波を観測し、先づ大陸径路の部分が 10% 以下のものと 35% 以上のものに大別して比較すると、前者では Love 波の周期や振巾の減少が激しいが、後者では長くつゞくことを指摘し、更に大洋の部分を引き去つて大陸部だけの分散状態をしらべ、アフリカ、南米、アフリカ+ヨーロッパ西部の地殻構造を求めた。この場合、下層では速度が直線的に増加すると云う仮定に基づいた Love 波の理論的分散曲線をも用いている。更に海洋径路の分散に対しては、観測の結果として、大西洋、印度洋、太平洋の地殻構造の差は殆んど認められず、何れも大陸に見られるよりもずつと表面の近くに S 波が速い速度でつたわる地層が存在し、何れも $V_s=4.5$ km/sec の上に、 $V_s=4.0$ km/sec の層が厚さ 25 km で存在するか、又は上の層を欠いて、下層では V_s が $4.2\sqrt{(1+0.0004z)/(1+0.0001z)}$ で深さと共に増している。と推定している。

之までは、妹沢を除いては、Rayleigh 波を用いたものはなかつたが、この頃、K. E. Bullen⁵¹⁾ と J. F. De Lisle⁵²⁾ は、始めて Rayleigh 波だけの観測から、夫々海洋の部分の地殻構造を求めた。この論文で大事なことは、何れも Jeffreys や妹沢が、Rayleigh 波の理論的分散曲線を描くための数値例に取上げた $\mu'/\mu=20/9$, $\rho'/\rho=5/4$, 乃至は $\mu'/\mu=1.65$, $\rho'/\rho=1.14$ をそのまま用いて、観測のそれと合う様に層の厚さを求めているのであるが、実は之等の観測による点の並びと、理論曲線とは、後でのべる J. T. Wilson と O. Baykal の場合と同様に⁵³⁾、短周期の部分でひどくくいちがつて来るのである。この点は後で F. Press や M. Ewing によつて、海洋の存在を考えに入れた理論を用いることにより、うまく解決されるのであるが、それはその折に再びふれることにしよう。

表面波の観測は通常遠地地震に限られている。それは、近地地震の記象では、まだ表面波が十分に P 波や S 波と分れていないために、夫等の短周期の波が混入して表面波を認め難くしてしまう為なのである。それで、若しも近地地震の記象を使つて表面波の研究を行おうとするには、どうしても之等の短周期の波だけを、記象から取除かないといけない、

短周期の存在が困るのは、然し中距離程度の地震記象についても起る。例えば震央距離が数 1000 km 位の場合でも、短周期の波がまだかなり残っているために、表面波の立上りが不明瞭になつたり、後の方の部分の周期のよみとりが困難になつたりすることがある。それで、この短周期の波を除去したい要求は、実は今までにも感じられていたのである。

このために、例えば前にのべた J. T. Wilson などは、原記象を積分して変位記象に直して、周期のよみとりを行つている⁴¹⁾。然し、一つ一つの記象をいちいち積分することは大変な仕事である。そこで地震記象に対する低域フィルターが要される。秋間はこの目的で、振り

振子を利用した機械的な低域フィルターを製作した⁵⁴⁾。そして之を用いて、1938年5月に塩屋崎沖で起つた浅発地震を日本内地の各気象台でとつた記象をこのフィルターにかけた結果、震源から2~300 km 以内の地点のものを除いて、各地の記象から、その速度及び分散的な点から見て表面波と思われる20~30秒程度の周期の波を検出することに成功した⁵⁵⁾。(第4図)

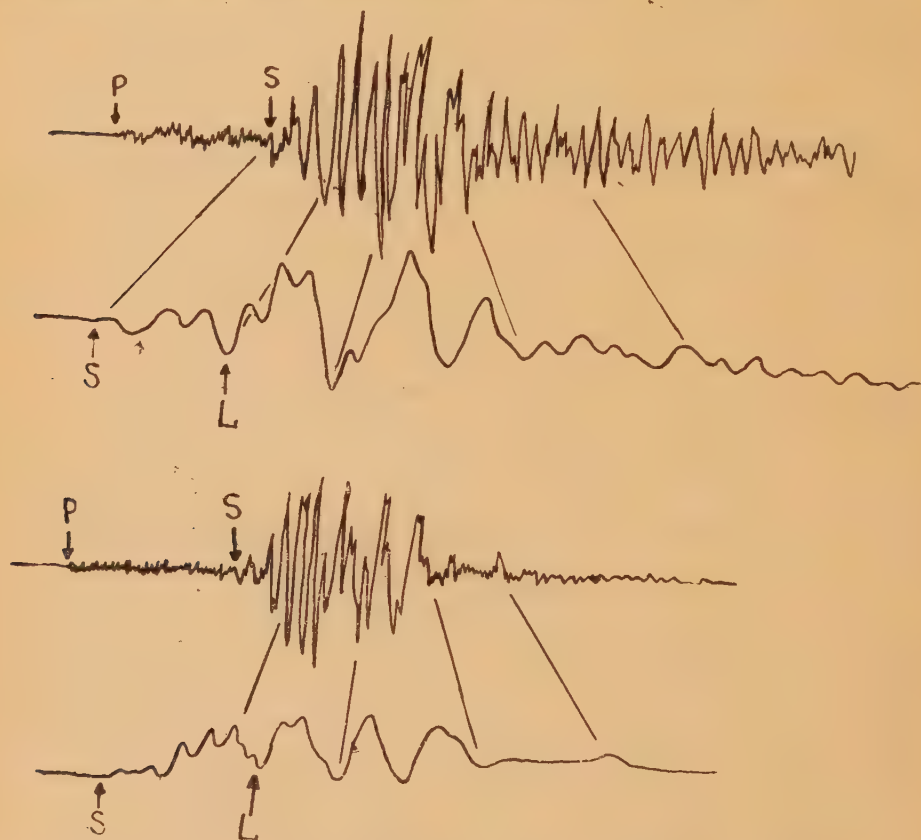


Fig. 4. 二例： 何れも上が原記象で下がフィルターされた波形。二つを結が線は波の対応を示す。 [Akima (1949)]

最近表面波の分散の状態の観測から地殻構造をきめる、と云う問題に対して、佐藤(泰)は一つの警告を発した⁵⁶⁾。それは、少くとも Love 波又は Rayleigh 波だけを単独に使つたのでは、それらの分散状態の観測から地殻構造を一義的にきめることは出来ない、と云うことである。実際、例えば Love 波の観測からその分散状態をしらべて、それを理論的な分散曲線と対決させる場合、我々の目の前にあるのは、層を一つ或いは二つと仮定した分散の式なのである。従つて、我々は地殻構造の決定に当つては、予め、一層又は二層の存在何れかを仮定しなければならない。だから、仮りに本当は層が二つあつても、Love 波の分散状態からきめる場合に於てかりに層を一つなりと仮定して、一層の場合の分散式を用いて計算をすゝめるなら

ば、我々は実際とは異つた地殻構造を勝手につくり上げてしまうことになるのである。このことは、佐藤の例示にまつまでもなく、今までの論文にもいくらかその例を見ることが出来る。

表面波の観測から、地殻構造をきめる場合に注意を要する点は実は之に上らない。かりに層を一つと仮定したことが適當だつたとしても、観測された資料と照合させられる理論からの分散の式の中には、上下層中の S 波の速度 v_1 及び v_2 、剛性率の比 μ_2/μ_1 、それに H と、多くの parameters が入っている。これらの中で v_1 と v_2 とは、なるべく広い周期の範囲に亘つて分散状態を調べることににより、表面波の観測からもきめられるとしても、残つた μ_2/μ_1 と H との組合せ次第で、観測された分散状態に合う様な答は決して一つではないのである⁵⁷⁾。こゝにも又別な非一義性が出て来る。

以上の非一義性を除去する手段は、R. Stoneley が、Love 波の観測だけからヨーロッパ大陸の地殻構造をきめ様としてとつた手段⁴⁸⁾もあらうけれ共、之はいわば仕方なしにとつた方法であつて、今のところ、Love 波と Rayleigh 波両方の分散状態の観測から地殻構造をきめる以外にはないであらう。

秋間は、上記の低域フィルターに更に改造を加えた上で、1950 年 9 月 15 日、印度のアッサム地方で起つた地震を、日本国内の各地でとつた記象をフィルターにかけて、Love 波と Rayleigh 波両方の分散状態を調べた結果、印度を發し日本海を通つて東北地方に達する径路のものと、東支那海を通つて西南日本に達する径路のものとは、分散状態が何れも異なることを指摘し、両者の地殻構造を Love 波と Rayleigh 波の両方の分散状態から調べたところ、前者については厚さ 27 km の単一層でよいが、後者では、厚さが夫々 14 km と 12 km の二層をおかなくては、観測された二種類の表面波の分散状態を夫々の理論曲線に共に一致させることが出来ないことを示した⁵⁷⁾。

7. 海洋の影響——Airy phase

第二次世界大戦中、J. L. Worzel と M. Ewing は西印度から海をわたつて伝わつて来た地震波を観測して、水中をつたわる疎密波の速度が著しく周期に関係し、しかも周期の短いものの方が速いことを発見した⁵⁹⁾。C. L. Pekeris はこの事実に基づき、固体層の上に一つの液体層が存在する場合に、この液体層中をつたわる波が如何なる性質を示すべきかを検討した。彼の數理的取扱いは、最初は海底にはまだ固化し切らないどろどろした液体状の沈澱物があるべきことを予想して、そう云う液体の中に水の層がある場合につき行われ、次には、この下の液相が二重になつている場合も考えた。そして、海底で起る浅発地震の記象の中には、9~11秒程度の周期をもち、水中での音速の 7 割程度の速度を有する波群が海中をつたわるべきことを示し、この相に Airy phase の名を与えた⁶⁰⁾。

実はこの問題は、別な形で、即ち、表面に液体の層がつている場合に、それが普通の Ray-

leigh 波の速度にどんな影響を与えるか、と云う形で、古くから数理的研究の対象になつていたのである。

この問題を最初にとりあげたのは T. J. l'A. Bromwich である⁴¹⁾。彼は表面の液体に非圧縮性と云う仮定を与えて、この液体層の存在が、その中をつたわる Rayleigh 波の速度にどれ位影響するかを調べたが、彼の結果では余り大きな影響は見出されなかつた。ついで R. Stoneley は、水の非圧縮性と云う仮定をとり去つて、その中をつたわる弾性波の分散性をしらべたが、この時彼は既に前記の C. L. Pekeris の論文に出された特性方程式と全く内容を同じくした式を出している⁶¹⁾。そして彼の結果によれば、液体層の存在は、Rayleigh 波の速度に短周期の波の部分でかなり影響を及ぼし、彼の例示する処によれば、例えば厚さ 8 km の液体層は、周期 15 秒の Rayleigh の速度を約 2% 減少させるのである。1931 年妹沢は更にこの問題を始めて二次元的に取扱つて詳細な検討を加へ⁶²⁾、J. G. Scholte は重力と圧縮性の両方の影響を合せ考へて、位相速度に関する詳しい表を作つたりしている⁶³⁾。又この液層の存在の問題は F. Press と M. Ewing によつて、海上の暴風雨が起す土地の脈動に対しても展開されている⁶⁴⁾。

之等のかなり古くからの理論面での研究に拘らず、今まで表面波の観測から地殻構造を求めると云う仕事には、多く Love 波のみが用いられていた為に、それが観測の方で確められる機会が失われていたのであつたが、1939 年の K. E. Bullen⁵¹⁾ 以来、J. F. De Listle⁵²⁾ それに 1948 年の J. T. Wilson 及び O. Bakal⁵³⁾ 等、何れも海洋を径路にもつ Rayleigh 波の観測から地下構造を求める研究が相つぐに及び、この三つの論文は、(たまたま生じた前記の Worzel と Ewing の観測、それにつゞく Pekeris の数理的研究に支持されて、F. Press, M. Ewing によつて、Airy phase に関する新しい智識の脚光の下に改めて検討されたのである⁶⁵⁾。

1948 年、Wilson 等は、1941 年 11 月 25 日にアゾレス島とポルトガル海岸との間に起つた $M=8.25$ の地震をヨーロッパ、アメリカ、アフリカ、等の 6 点でとつた記録の中に現われた Rayleigh 波についてしらべ、それらの波の径路中、海洋部分が占める % 毎に別々に分散曲線を作つて見た時、そこに著しい事実を発見した。

(第 4 図)。即ち、長周期の部分では海洋部分の割合の多いもの程速度が速くなつてゐることは、従来事実と一致するのであるが、問題は周期が 18 秒位よりもみづかい範囲ではこの関係が全く破れて、むしろ海洋径路の割合の多いもの程速度が大きくおとされてゐると云うことである。同時に又彼等は、実際の Rayleigh 波の記象自体に於ても、18 秒前後の周期の波あたりから後の部分は、前の部分に比べて振幅その他に若干

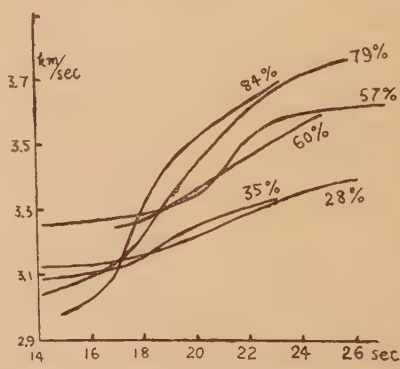


Fig. 5. [Wilson, Baykal (1948)]

の不連続があることも指摘しているが、この点についてはこの論文では敢えて解明することをやめて、之等の分散曲線を純海洋径路のものと純大陸径路のものとに直した上で、太西洋、アフリカ及びアメリカ大陸の地殻構造を求めている。尙、さし当つて当面の問題には関聯しないことであるけれども、この論文では表面波が陸地と海洋の境界線を斜めに横ぎる場合の屈折を始めて論じ、例えば周期 20 秒の波については入射角が 45° 以上になると、波の速度に補正が必要になると云っている。

ところで、この Wilson 等の場合の純海洋径路の分散状態と彼等がそれと一致せしめた分散曲線とは、実は短周期の部分で大きく食いちがつてしまっている。(第 6 図)。即ち今までの上下層とも固体の場合の Rayleigh 波の分散曲線では、この短周期での部分の鋭い速度の減少は説明出来ないのである。この点は、それ以前の Bullen や De Lisle の場合でも同じなのである。

F. Press と M. Ewing とは、1950 年の論文でこの点に着目し、さきの Pekeris の研究を更にすゝめて固体層の上に水の層がある場合について彼等自身の導いた特性方程式⁶⁴⁾をこの場合に当てはめることによつて始めて彼等の観測した海洋径路の Rayleigh 波の分散が、短周期の部分まで含めてよく説明されることを示し、Wilson 等の観測からは大西洋底の構造として $V_s = 4.45 \text{ km/sec}$ の上に、水と殆んど同じ密度をもつたどろどろの沈澱層が厚さ 1.3 km でたい積しており、Bullen と De Lisle の観測からは、太平洋底の状態として、 $V_s = 4.35 \text{ km/sec}$ の固体層の上に、同じく厚さ約 0.7 km の泥の層があると決論した。尙、同じ頃アメリカ東部の大西洋上にある Bermuda 島附近で、屈折波の観測からこの辺の地下構造を求める実験が Ewing や Worzel 等によつてなされた⁶⁵⁾が、その結果によると、沈澱層の厚さ 1.37 km、基底内での $V_p = 7.58 \text{ km/sec}$ で、上に出された結果が極めてよくこれらの数値と合致している点は注目される。

液層が表面に存在することによつて生ずる Airy phase の實在は、すぐに F. Press, M. Ewing, I. Tolstoy の三人によつて、Bermuda 島で記録された一連の海底浅発地震や、Huan-cayo でとられた 1944 年の Galapagos 島西南方の海底地震の記録などを再検討することによつて何れも水中音速の 7~8 割の速度と 8~9 秒の周期をもつた明瞭な波群が認められることによつて確められた⁶⁷⁾。彼等の言葉を借りるならば、海底における、深さ 5~10 km 以内の地震ならば、大概 Airy phase は生ずる筈であり之を観測することは、海底地震の震源を今までよりも良好な精度で決定することを可能にするであらう。

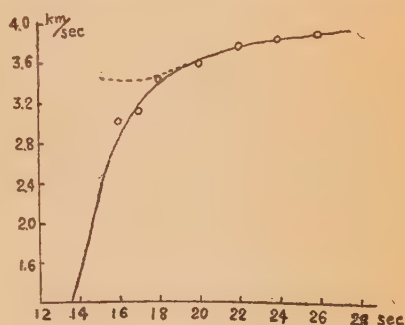


Fig. 6. 点線が Wilson の用いた分散曲線、実線が海洋の影響を考え入れた分散曲線 [Press, Ewing(1950)]

こうして、この表面波に関する理論と観測の新しい進展は、M. B. Dobrin によつて、実際に海底探査に利用されるに至るのである。彼のビキ＝環礁での実験がそれである⁶⁵⁾。即ち、環礁の周辺におかれた7つの地震計は、環礁内119点での小爆破による振動記録中に何れも明瞭な Airy phase を記録し、(第7図)それによつて、環礁内の海底に、 $V_p = 1.8 \text{ km/sec}$ の沈澱層の存在を見出したのである。

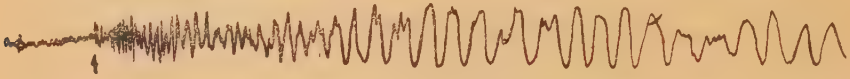


Fig. 7. ビキ＝環礁における Airy phase の記録の一例

先に、Airy phase に関する理論を新しい足がかりとして、Wilson 等の観測を再検討した Press と Ewing は、更にこの論文につづくものとして、今度は1950年7月29日のソロモン島の地震をホノル、と北米の4点でとつた記象から Rayleigh 波を観測し、純海洋径路に関する分散の状態を、今までは所謂 Coda として扱われていた部分まで調べ、これに水の層を考えに入れた前述の理論からの分散曲線をあてはめて、沈澱層を含めた液相の厚さを 5.57 km 、その下の固体層中では $V_s = 4.56 \text{ km/sec}$ 、 $V_p = 7.95 \text{ km/sec}$ と求めた⁶⁹⁾。

この論文で注目される点は、今までは Coda として取扱われていた、周期が殆んど一定と見える正弦波的な波群までが、水層を表面においた場合の Rayleigh 波の一部だと考えられること、この辺りの波の群速度は、水中をつたわる音速よりも小さいこと。又、地球の裏側を通つて来た Rayleigh 波をもつかまえて見ると、之また順廻りのものと同一の分散曲線上によくのことから、太平洋も大西洋も印度洋も、すべて上記の地下構造で満足される、云いかえれば、三つ共に地下構造が同一だと云つている点である。この最後の決論は、順廻りの Rayleigh 波も逆廻りのそれも、共に同一の分散曲線上にのつたと云う観測事実に対する唯一の解釈法とは云えないけれ共、この決論は、最近行われた C. B. Officer, M. Ewing, C. Wuenschel による P 波の屈折を利用しての大西洋底の、及び R. W. Raitt がやはり同じ方法で求めた太平洋底の地下構造が、何れも $V_p = 8.1 \text{ km/sec}$ の上に厚さ 5 km で $V_p = 6.8 \text{ km/sec}$ の層がつている、と云う結果をみている⁷⁰⁾⁷¹⁾ことを参考にしているものであり、かつて J. T. Wilson (1940) が表面波の観測から決論している同様の結果とも思い合わせて、我々のいままでの常識とは相反する結論ではあるが、一応注意されることである。

上の Rayleigh 波の観測結果と、Officer, Raitt 等の屈折法によるものとは、地下構造を示す数値自体は、一致していないが之は、液相——固体層——固体層と云う三重層の場合の Rayleigh 波の分散式を用いなかつた為であろう。(日本ではこの式は既に出されている⁷²⁾。)事実同論文によると、Love 波を用いて固体のみの単一層構造を仮定して求めると、屈折法か

ら出された 5 km の厚さの層を求めることが出来たそうである。

7. 表面波と音波との Coupling

1950 年の 2 月から 3 月にかけての三週間、Superior 湖と Cayuga 湖で、氷の中をつたわる弾性波に関する実験が行われた⁷³⁾。この実験は、既に何人かの人達によつて理論的に考究されている板の中をつたわる弾性波の問題⁷⁴⁾を実験的に確かめる為に行われたのであつた。そして、氷の中をつたわるたわみ振動が、棒やうすい板の中をつたわるそれと同様に、その本質に於ては、水面上をつたわる重力波や、弾性体の表面をつたわる Rayleigh 波などと同様に、一種の表面波であるべきことや、その分散も数理的にはよく知られていた。

実験は、爆破点を氷の下の水中のいろいろな深さ、氷の中、空中、と三つに分けて、0.5 ポンドの TNT によつて行われ、氷上に並べたたくさんの geophone や microphone や hydrophone でその振動を記録すると云うものであつたが、水の中での発破の場合には、理論的な分散曲線と極めてよく合うたわみ振動を記録した。(之は逆分散である)

ところが、氷上又は空中での発破による記録は、前者とは大分様子のちがつたものであつた即ち、この場合には 1.6 km/sec 位の速度の殆んど一定の周期をもつた波群で、それは一つのパルスで完了する。そしてこのパルスは空中音波の速度をもつうねりの波である。

話は昔に遡るけれ共、1885 年にクラカタウ火山の有名な爆発があつたが、この爆発に関して不思議な現象が当時知られていた。それは、互いに離れた数ヶ所の観測点に、爆発による音波と、海のうねりとが同時に到達していると云うことなのである。当時この現象は、おそらく海の波の方は何処かの海底地震によるもので、爆発による音波との到達時刻の一致は偶然だろうと考えられて、そのまゝ見過されていたものであつた。Ewing と Press は、之に対し、おそらく之は海上をつたわる表面波と、空中をつたわる音波との間に生じた Coupling の現象であろうと考え、目下それに関する理論を進めつゝある様であるが、実は例えば Rayleigh 波と音波との Coupling によつて、一つの新しい波が生じうべきことは、H. Bateman も既に述べていることであり⁷⁵⁾、水と空気との大きな密度のひらきにも拘らず、海上をつたわる分散性の波の中に、その位相速度が音波のそれに等しい様な波を含む場合には、両者の Coupling の起りうることも考えられるのである。

Press と Ewing は、この問題に入る前に、先づ水に浮んでいる氷の中をつたわるたわみ振動による波と、空中音波との Coupling の問題を数理的に調べ⁷⁶⁾、同時に前記の湖水上で実験で見出された、氷上発破の場合のみに生ずる新しい波群が、この “Air-coupled waves” であることを示した⁷²⁾、即ち観測された波の周期も、彼等が理論的に計算した周期とかなりよく一致している。

彼等は、この音波との Coupling の問題を更に普通的地表面上をつたわる Rayleigh 波にあ

てはめ、地表面にかなり速度の遅い層がついて、その上をつたわる Rayleigh 波の位相速度の中に、空中をつたわる音波の速度に極めて近いものがある様な場合には、地面の上での地震動観測の場合にも、音波とのCouplingの結果新しい波群が観測出来る筈であることを理論と実際と両方面から示したのである⁷⁶⁾。彼の理論によれば、上の様な条件の成立する場合、従来の Rayleigh 波に関する分散曲線には、新しい一つの分枝が生ずることになるのである。(第 8 図)。この図で、点線で示された III がその新しい分枝である。実際に観測されるのは、群速度の方であるから、今この III の分枝をも含めて群速度に関する分散曲線を眺めるならば、従来の Rayleigh 波を構成する波群は、丁度音波の到達する時刻に突如として始まる、最初の瞬間は複雑な、そしてすぐにあとは一定の周期でつく一連の波群によつて特徴づけられるであろう。序で乍ら、II の部分は従来の Rayleigh 波に属するところであるが、この部分は、海では観測されているけれ共、陸上では、おそらくは短周期の波の吸収が激しいために未だ一度も観測されていない。

上の、理論から導き出された“Air-coupled waves”に関する予想波形は、やはり彼等によつてなされた発破による野外実験でほぼ確かめられたと云える⁷⁷⁾。即ち今この実験の記録の一部を忠実に trace したものを第

9 図に示すが、この中で a) の方は地中で発破を行つた場合の地動を示すもので、P, S, R 波

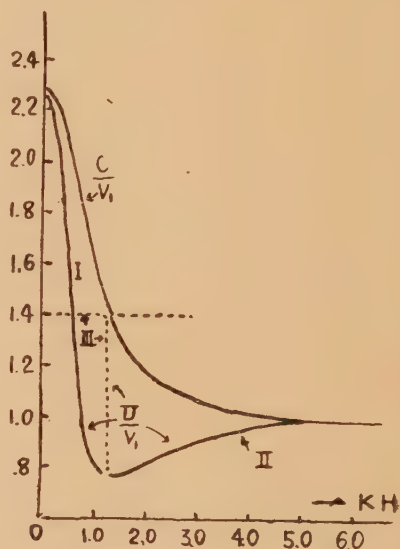


Fig. 8. $\rho_2/\rho_1=1.1$, $\rho_0/\rho_1=0.001$,
 $\alpha_2=\sqrt{3\beta_2}$, $\beta_2=2.5v_1$, $v_0=1.4v_1$
 [Ewing, Press (1951)]

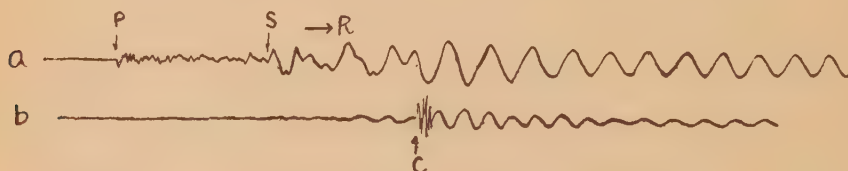


Fig. 9. [Ewing, Press (1951)]

が普通に出ているが、之に対し b) の方は、空中で発破を行つた場合の地動であり、S 波からかすかに出ているが、R の始まりからやゝおくれ、丁度音波の到達する時刻で急に短周期の混つた複雑な波形が現われ、それがすぐにほぼ一定の周期をもつたきれいな正弦波に移つてつづいていることが分る。

尚、この実験では、極めてきれいな Rayleigh 波を記録しているが、それによつて地面の遅

動軌跡を調べて見ると、かつて同様の実験を行つた Howell の場合⁴²⁾と同様に、楕円の軸が傾いていることが示されているが、それよりも、記録された Rayleigh 波をフーリエ分析器にかけて(このものについては何等記されていないが)位相速度を出し、位相速度に関する分散曲線に之がきれいにのることを示している点が注目される。

この“Air-coupled waves”は、前に述べた magnolia 石油会社の実験地震学グループによつてなされた見事な実験¹⁵⁾(本文の37~38頁参照)でも、空中発破の場合に明瞭に記録され、その部分について、次々の山の到達時刻を走時図上にプロットすると、きれいに音波速度と等しい走時直線群が出来上がることが示されている。(同論文の831頁)更に又、1949年 F. Howell は、Los Angeles の近くで小爆破による観測を行い⁴²⁾、明瞭な Rayleigh 波を記録しているが、この中で 345 m/sec の速度を示すある相を見出し、之に H なる名称を与えたが、二年後、N. A. Haskall はこの H は“Air-coupled waves”ではないかと云つて⁷⁸⁾。

尙、前にのべた様な条件が*) 成立つ場所では、地中で爆発させて、空中をつたわる音波を Airephone で記録してもやはりこの“Air-coupled waves”が観測されることが期待され、事実前記の Press 等の氷上の実験でもそう云う記録がえられているのであるが、H. Benioff 等の 1951 年の論文の中には、同年1月24日の小さな地震($M=5.6$)を、265 km はなれた Pasadena で空中においた Airephone でとつた音波の記録の中に、“Air-coupled waves”と思われる波を発見したと報じている⁷⁹⁾。

8. お わ り に

今までの表面波の観測に関する業績を通観してみると、この種の論文の主流をなしていた表面波の分散の観測から地下構造をきめると云う問題は、第二次世界大戦後は、今まではたとえ理論の方では断片的に予想されてはいたことであるけれども、それが自然地震の観測に止まる限りは仲々見出しえないまゝに、特に取上げて議論される機会を逸していた Airy-phase や Air-coupled waves 等の新しい波群の問題に取つて代られた感がある。之は、最近の増巾器を用いた性能のよい換振装置の発達と共に、小爆破による野外観測が盛んに行われる様になつた結果であり、このことは同時に、表面波の観測と云う分野に、新しくすゝむべき一つの方向を指示するものとして、大きな意義がある様に思われる。そして、理論が先行し、観測を待つていくいくつかの問題、例えば表面波の発現距離⁸⁰⁾や、深さ⁸¹⁾に対する振巾分布の問題等、或いは又逆に、まだ数理的には十分には取扱ひえない厚さの変化している表面層上を通る表面波の性質或いは崖の存在の問題などと取組むためにも、乃至は観測の方では未だに漠然としたまゝで残されているいくつかのことがらを究めるためにも、この小爆破による野外実験はかつて寺田及び坪井が行つた寒天を用いての実験室内での弾性波に関する実験⁸²⁾(同様の方法が現在笠原により行われつゝある⁸³⁾)と共に、大いに期待されていゝ手段と考えられるのである。

*) 前頁の 1~3 行目参照

とは云え、一方、古くから続けられて来た自然地震の表面波の観測から地下構造をきめると云う仕事も、成程多くの人が多く地域に対して行つて来てはいるけれ共、決して十分なものと云えない。そのことは、今までになされたこの種の論文の結果をまとめた第1表を見、更にそれを実体波の観測による結果と比較すれば分ることである。無論、こうした方法で把握出来る地下構造と云うものは、 P 波の反射や屈折波を利用する方法程の精度は要求出来ないにしても⁸⁴⁾、実体波を用いえない広い地域、特に海洋底の構造などを大づかみに把握する手段として、前者とは又別な意味をもっているのであるし、そう云う意味ではこの方面からえられる結果をもつと確かなものにしたいものである。そのためには、やはりある地震についての各観測点の記象から純粹の Love 波と Rayleigh 波を別々に観測し、しかも相当広い波長の範囲に亘つて速度を調べ、その分散状態自体から上下各層内の S 波の速度を推定し、層の数も、以上二種類の表面波の分散状態からきめるだけの労力をかけることであろう。又、ある層の内部に於ても P 波や S 波の速度は決して一定ではなくて、深さと共に増加していることは広く認められていることを考えると、今後は、今までの様に、層の内部では速度は一定、と云う仮定は、上にのべた様な事実により近い仮定におきかえられねばならないであろう。この方面の数理的研究は Rayleigh 波に関しては、まだ層のない場合しか行われていない⁸⁵⁾けれ共、Love 波についてはかなりすすんでいる⁸⁶⁾。又実際に観測面でこの点を考慮した論文も2、3ある。(例えば 89)、41))。近地地震に関する表面波の観測も、残された分野の一つであり、前述の秋間による低域濾波器を用いるのもその手段の一つであろう。又古く H. Benioff によつて考案された“Linear strain seismograph”⁸⁷⁾も、之を互いに直角に二台設置し、適当な周期の Galvanometer と組合せることによつて⁸⁹⁾、少くとも表面波の發現をより明瞭にし、又 Love 波と Rayleigh 波の二つの到達時刻を、波の進行方向の如何に拘らず明瞭に分離出来る点で、特に表面波の發現の問題に関して有利な観測手段となると思われる。

参考文献

- 1) E. von Rebeur-Paschwitz: Horizontalpendulum-Beobachtungen auf dem Kaiserl. Universitäts-Sterwarte 1892-1894. Beitr. z. Geophys., 2 (1895).
- 2) R. D. Oldham: Report of the Great Earthquake of 12th June 1897. Mem. Geol. Surv. of India, 29 (1895).
- 3) F. Ômori: Note on the Observations in Europe of Large Japanese Earthquake of Recent Years. Report. Earthq. Inv. Comm., 29 (1899).
- 4) T. J. P. A. Bromwich: London Math. Soc. Proc., 30 (1899).
- 5) E. Rosenthal: Remarques sur la propagation des ondes seismiques longues. Verh. 1. Generalvers. seism. Assoz. Haag (1905).
- 6) G. Angenheister: Seismometrische Registrierungen in Göttingen 1915. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. Gött., Heft 4 (1906).
- 7) O. Meissner: Über die Geschwindigkeit der W_2 -, und W_3 -Wellen. Beitr. in Potsdam. (1913).

- 8) G. Angenheister: Beobachtungen an pazifischen Beben. New Zealand Jour. of Science and Tech., 4 (1921).
- 9) E. Tams: Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Oberflächenwellen. Centralbl. für Mineralogie, Geologie und Paleontologie. (1921).
- 10) S. W. Wisser: On the Distribution of Earthquakes in the Netherlands East-Indian Archipelago 1909-1919. Kon. Magnet. en Met. Observatorium te Batavia, Nr. 7 (1921).
- 11) B. Gutenberg: Dispersion und Existenz von seismischen Oberflächenwellen und der Aufbau der Erdschichten. Phys. Zeit., 25 (1924).
- 12) B. Galitzin: Beobachtungen über die Vertikalkomponente der Bodenbewegung. Bull. de l'Academie des Sciences de Saint Petersburg, 6th ser., (1911).
- 13) C. Mainka: Über das Amplitudenverhältniss bei Rayleischen Oberflächenwellen. Phys. Zeit. Bd. 16 (1915).
- 14) D. Leet: Empirical Investigation of Surface Waves Generated by Distant Earthquakes. Publ. of the Dominion Obs. Ottawa, 7 (1931).
- 15) W. Rohrbach: Über die Dispersion seismischen Oberflächenwellen. Zeit. für Geophys., 8 (1932).
- 16) D. S. Carder: Seismic Surface Waves and the Crustal Structure of the Pacific Region. Bull. Seis. Soc. Amer., 24 (1934).
- 17) T. Suzuki: Amplitude of Rayleigh Waves on the Surface of a Stratified Medium. Bull. Earthq. Res. Inst., 11 (1933).
- 18) M. B. Dobrin, R. F. Simon and P. L. Lawrence: Rayleigh waves from Small Explosions. Trans. Amer. Geophys. Union, 32 (1951).
- 19) H. Jeffreys: On the Surface Waves of Earthquakes. M.N.R.A.S.G.S., 1 (1925).
- 20) J. B. Macelwane: A Study of the Relation Between the Period of Elastic Waves and the Distance Traveled by them, Based upon the Seismographic Records of the California Ekq. Jan., 31, 1922. Bull. Seis. Soc. Amer., 13 (1923).
- 21) P. Byerly: The Montana Earthquake of June 28, (1925). Bull. Seis. Soc. Amer., 16 (1926).
- 22) B. Gutenberg: Über Fortpflanzungs von elastischen Wellen in viskosen Medium. Phys. Zeit., 30 (1929), 230.
- 23) B. Gutenberg: Internal Constitution of the Earth. Vol. 7 of Physics of the Earth, New York, McGraw-Hill (1939).
- 24) K. Sezawa: On the Decay of Waves in Visco-Elastic Solid Medium. Bull. Earthq. Res. Inst., 4 (1927), 107.
- 25) C. F. Richter: Mathematical Questions in Seismology. Bull. Amer. Math. Soc., 49 (1943), 477.
- 26) R. Stoneley: Dispersion of Seismic Waves. M.N.R.A.S.G.S., 1 (1925).
- 27) C. R. Rossby: On the propagation of Frequencies and Energy in Certain Types of Oceanic and Atmospheric Waves. Jour. of Meteorology, 2 (1945).
- 28) W. H. Munk: Increase in the Period of Waves Traveling over Large Distance; with Application to Tsunami, Swell and Seismic Surface Waves. Trans. Amer. Geophys. Union, 28 (1947).

- 29) J. T. Wilson: Increase in Period of Earthquake Surface Waves with Distance Traveled. Bull. Seis. Soc. Amer., 38 (1948).
- 30) W. H. Munk: Note on Period Increase of Waves. Bull. Seis. Soc. Amer., 39 (1949), 41.
- 31) K. Sezawa and K. Kanai: Discontinuity in the Dispersion Curves of Rayleigh Waves. Bull. Earthq. Res. Inst., 13 (1935).
- 32) K. Sezawa and K. Kanai: The M_2 Seismic Waves. Bull. Earthq. Res. Inst., 13 (1935), 471.
- 33) K. Kanai: On the Existence of the M_2 waves in Actual Seismic Disturbance. Bull. Earthq. Res. Inst., 26 (1948).
- 34) S. Homma and Y. Nishizawa: On Dispersion of Rayleigh Waves Propagated Over a Stratified Surface. Geophys. Mag., 23 (1952).
- 35) K. Kanai: On the Group Velocity of Dispersive Surface Waves. Bull. Earthq. Res. Inst., 29 (1951).
- 36) B. Galitzin: Vorlesung über Seismometrie. Leipzig und Berlin, Teubner. (1914).
- 37) O. Meissner: Bestimmung des Absorptionskoeffizienten der äußersten Erdschichten. Seismom. Beob. im Potsdam (1913).
- 38) K. Wegner: Die Seismischen Registrierungen am Samoa-Observatorium 1909 und 1910. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen, Heft 3 (1912).
- 39) B. Gutenberg: Aufbau der Erde. Berlin. Verlag von Gebrüder Bornträger. (1925), 113.
- 40) B. Gutenberg und C. F. Richter: On Seismic Waves. (3rd paper). Gerl. Beitr. Z. Geophys. Bd. 47 (1936), 92.
- 41) J. T. Wilson: The Love Waves of the South Atlantic Earthq. of August 28 (1933). Bull. Seis. Soc. Amer., 30 (1940), 273.
- 42) F. Howell: Ground Vibrations Near Explosions. Bull. Seis. Soc. Amer., 39 (1949).
- 43) E. Meissner: Elastische Oberflächenwellen mit Dispersion in einem inhomogenen Medium. Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. Zurich, 66 (1921), 188.
- 44) R. Stoneley and E. Tillston: The Effect of a Double Surface Layer on Love Waves. M.N.R.A.S.G.S., 1 (1927), 521.
- 45) R. Stoneley: The Dispersion of Waves in a Double Superficial Layer. M.N.R.A.S.G.S., 1 (1927), 527.
- 46) R. Stoneley: The Thickness of the Continental Layers of Europe. M.N.R.A.S.G.S., 2 (1926), 429.
- 47) R. Stoneley: The Continental Layers of Europe. Bull. Seis. Soc. Amer., 33 (1948), 271.
- 48) H. Jeffreys: The Effect on Love Waves of Heterogeneity in the Lower Layer. M.N.R.A.S.G.S., 2 (1928), 101.
- 49) K. Sezawa: Rayleigh and Love Waves Transmitted Through the Pacific Ocean and the Continent. Bull. Earthq. Res. Inst., 13 (1935), 245.
- 50) T. Matuzawa: Observation of Some Recent Earthquakes and their Time-distant Curves. Part 4. Bull. Earthq. Res. Inst., 6 (1929), 214.
- 51) K. E. Bullen: On Rayleigh Waves Across the Pacific Ocean. M.N.R.A.S.G.S., 4(1939), 579.
- 52) J. F. De Lisle: On Dispersion of Rayleigh waves from the North Pacific Earthquake of Nov. 10, 1938. Bull. Seis. Soc. Amer., 31 (1941), 303.

- 53) J. T. Wilson and O. Baykal: Crustal Structure of the North Atlantic Basin as Determined from Rayleigh-Wave Dispersion. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 38 (1948), 41.
- 54) T. Akima: A Torsion Pendulum Low-pass Filter Applied to the Study of Earthquake Waves. (Part 1). *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 26 (1949), 95.
- 55) T. Akima: loc. cit. (Part 2), 27 (1949), 68.
- 56) Y. Satô: Study of Surface Waves IV. Equivalent Single Layer to Double Surficial Layer. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 29 (1951), 519.
- 57) T. Akima: On Dispersion Curves of Surface Waves from the Great Assam Earthquake of Sept. 15, 1950. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 30 (1952), 237.
- 58) T. Akima: A New Mechanical Low-pass Filter for Seismogram Analyses. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 30 (1952), 53.
- 59) J.L. Worzel, M. Ewing: Explosive Sound in Shallow Water. *Geol. Soc. Amer., Mem.* No. 27 (1948).
- 60) C.L. Pekeris: Theory of propagation of Explosive Sounds in Shallow water. *Geol. Soc. Amer., Mem.* No. 27 (1948).
- 61) R. Stoneley: The Effect of the Ocean on Rayleigh Waves. *M.N.R.A.S.G.S.*, 1 (1926), 349.
- 62) K. Sezawa: On the Transmission of Seismic Waves on the Bottom Surface of an Ocean. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9 (1931), 115.
- 63) J.G. Scholte: Over Het Verband Tussen Zeegolven en Microseismen, I and II. *Verlag Ned. Akad. Wet.*, 52 (1943), 669.
- 64) F. Press, M. Ewing: A Theory of Microseisms with Geological Applications. *Trans. Amer. Geol. Union.*, 29 (1948), 163.
- 65) M. Ewing, F. Press: Crustal Structure and Surface-Wave Dispersion. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 40 (1950), 271.
- 66) M. Ewing, J.L. Worzel, J.B. Hersey, F. Press, G.R. Hamilton: Seismic Refraction Measurements in the Atlantic Ocean Basin, Part 1. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 40 (1950), 233.
- 67) F. Press, M. Ewing, I. Tolstoy: The Airy Phase of Shallow-focus Submarine Earthquakes. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 40 (1950), 111.
- 68) M.B. Dobrin: Submarine Geology of Bikini Lagoon as Indicated by Dispersion of Water-borne Explosion Waves' *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 61 (1950), 1091.
又は Dispersion in Seismic Surface Waves. *Geophysics*. Vol. 16 (1951), 63.
- 69) M. Ewing, F. Press: Crustal Structure and Surface Wave Dispersion. Part II. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 42 (1952),
- 70) C. B. Officer, M. Ewing, P. C. Wuenschel: Seismic Refraction Measurements in the Atlantic Basin. Part II.
- 71) R.W. Raitt: Seismic Refraction Studies of the Pacific Basin.
以上二つは、1951 年のロスアンゼルスにおけるアメリカ地震学会で発表されただけで、1953 年 3 月現在まだ paper にはなっていない。
- 72) 市川政治: 海洋底を伝播する表面波について。地震時報, 第 16 卷, 第 3~4 号, (1951), 77.
- 73) F. Press, A.P. Crary, J. Oliver, S. Katz: Air-coupled Fluxural Waves in Floating Ice. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 32 (1951), 166.

- 74) 例えば, M. Ewing, A. P. Crary: Propagation of Elastic Waves in Ice. *Physics*, Vol. 5 (1934), 181.
- 75) H. Bateman: Rayleigh Waves. *Proc. Nat. Acad. Science, U.S.*, 24 (1938), 315.
- 76) M. Ewing, F. Press: Theory of Air-coupled Fluxural Waves. *Journ. of applied Physics*, Vol. 22 (1951), 892.
- 77) M. Ewing, F. Press: Ground Roll Coupling to Atmospheric Compressional Waves, 16 (1951), 416.
- 78) N. A. Haskell: A Note on Air-coupled Surface Waves. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 41 (1951), 295.
- 79) H. Benioff, M. Ewing, F. Press: Sound Waves in the Atmosphere Generated by a Small Earthquake. *Roy. Nat. Acad. Science*, 37 (1951), 600.
- 80) Nakano: On Rayleigh Waves. *Jap. Journ. Astro. and Geophys.*, 2 (1925), 233.
- 81) Y. Satô: Study on Surface Waves. VII. Travel-time of Love Waves. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 30 (1952), 305.
- 82) T. Terada, C. Tsuboi: Experimental Studies on Elastic Waves. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 3 (1927), 55 and 4 (1928), 9.
- 83) K. Kasahara: Experimental Studies on the Mechanism of Generation of Elastic Waves 1. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 30 (1952), 259.
- 84) P 波を用いた地殻構造の決定に関する総合的な結果は, 爆破地震動研究グループによる次の二論文に詳しい.
 地殻構造と爆破地震学. 自然, 11 月号, (1952), 22.
 爆破地震による地殻構造研究の展望. 地球科学, 第 7 号, (1952), 73.
- 85) H. Honda: On the Rayleigh Waves Propagating over the Surface of a Heterogeneous Materials. 中央気象台欧文イ報 4. (1931), 137.
- 86) Y. Satô: Study on Surface Waves V. Love Waves Propagated upon Heterogeneous Medium. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 30 (1952), 1.
- 87) H. Benioff: A Linear Strain Seismograph. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 25 (1935), 283.
- 88) H. Benioff, B. Gutenberg: The Response of Strain and Pendulum Seismograph to Surface Waves. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 42, 9 (1952), 229.
- 89) P. Byerly: The Dispersion of Seismic Waves of the Love Type and the Thickness of the Surface Layer of the Earth under the Pacific. *Gerl. Beitr. zur Geophysik*, Bd. 20 (1930), 27.

地 震 時 報

イランの地震 1953 年 2 月 12 日 17 時 15 分 29 秒 (日本時間) 北部イランに可成り激しい地震が起り Turut および其の附近に多数の死傷者と可成りの被害を生じた。震央は 35°N , $45\frac{1}{2}^{\circ}\text{E}$ で、Magnitude は 7 (Pasadena) であった。

チリの地震 1953 年 5 月 7 日 02 時 16 分 48 秒 (日本時間) チリ中部に深発地震が起り Conception および其の附近に死者若干名を含む被害を生じた。震央は $36\frac{1}{2}^{\circ}\text{S}$, 73°W で震源の深さは約 100 km, Magnitude は $7\frac{1}{2}$ ~ $7\frac{3}{4}$ (Pasadena) であった。

(以上は何れも U. S. C. G. S. の資料による)

1952 年の地域別規模別有感地震回数表

地 域 \ 規 模	顕著	稍顕著	小区域	局発	計
北 海 道	21	24	46	298	389
東 北	15	17	24	103	159
関 東	2	13	27	164	206
中 部	3	1	19	122	145
近 畿	4	0	4	424	432
中国・四国	0	1	3	86	90
九 州	2	0	5	41	48
日本周辺	5	0	0	2	7
遠 地	1	0	0	0	1
不 詳	0	0	0	0	0
合 計	53	56	128	1240	1477

阿蘇山の噴火 昨年 8 月 3 日の小噴火以来おだやかだった阿蘇山中岳第 1 火口は、本年 4 月初旬よりやや活気を呈していたが、同月 27 日突然爆発して多数の死傷者を出した。さらに、同月 28 日、29 日、5 月 4 日、25 日にも噴火した。各噴火の状況は次のようである。

4 月 27 日 11 時 31 分の噴火：黒灰色煙および噴石多量。人身丈、人頭大の噴石が数百 m の高さに抛出され、火口周辺に多数落下した。なお、噴石は火口縁から南西方約 600 m に達したものもあった。このため、火口附近で死亡 5、重傷 14、軽傷 50 余という同火山としては未曾有の大惨事をひきおこした。

28 日 2 時 16 分の噴火：黒灰色煙やや多量。噴石は火口縁から約 200 m の高さに達し、主として火口縁北側に落下した。

29 日 22 時 56 分の噴火：黒灰色煙多量。噴石が多量に抛出され、主として火口縁北側に落下した。

5 月 4 日 10 時 36 分の噴火：黒煙多量。北山ろくの坊中、宮地方面に降灰おびたくしく、農作物に多少の被害ある模様。

5 月 25 日 10 時ころの噴火：灰色噴煙。人身大ないし人頭大の噴石が約 200 m の高さに間けつ的に噴出された、(気象台地震課)

学 会 記 事

○昭和 28 年度地震学会第 1 回委員会

1953 年 3 月 23 日 10h~11.30h 地震研究所会議室。

出席者：萩原・井上・広野・宇佐美・山口・宮村・金井・笠原・島津・加藤・早川・松沢・坪井・表・村上。

議 題

I. 委員長選定について

委員長の任期について：委員長は賛助会員の会費収集が主なる責任である関係から二・三年留任する

のが適当と思われる。委員長の選出地区も現在まではすべて東京であつたが関西方面の財閥を賛助会員に勧誘するには京大の方に委員長になつていただくのが便利であり又東北地方から出ていただくのも結構であり委員長は東京に限る必要はない。今年は東京からとして来年は関西方面から出ていただくことにしてはどうであらうかとの意見も出た。互選の結果全員が和達氏を選出。和達氏不在の為和達氏の承認を得て決定することとした。

II. 幹事について。

全く新しい幹事を編成するとスムーズに行かない
おそれがあるので半数の新旧幹事にすることに決
定。

委員長が中央気象台であるから庶務も気象台にお
くこととし各幹事は次の通りときめた、尙編輯委員
会には変更はない。

庶務 広野・末広・宇佐美・表・村内

会計 笠原・松本・井上・山口

編集 島津・金井・宮村・安芸

Ⅲ. 春季地震学会について

表幹事より慶松氏からの連絡の手紙の紹介を行う

開催期日 5月9日, 10日, 11日

大会をスムーズに進行させる為、春季大会委員を
設けることに決定

春季大会委員

委員長 和達清夫

副委員長 萩原尊禮, 慶松光雄

委員 表俊一郎, 村内必典, 笠原慶一
松本利松, 広野卓蔵

一般講演について。講演内容はごく一般的なもの
を希望の由、講演者は、坪井忠二氏と和達清夫氏
(承認により決定することにはなるが)に決定する。

具体的なことは幹事会ならびに大会委員会にて計
画を作る。

Ⅳ. 朝日科学奨励金について

坪井氏より「重力に関する研究」が昭和 27 年度
でもう少くしと云うところまでいつたので、もう一
度御賛同が得られれば推薦をお願いしたいとの意見
があつた。時期のある仕事の関係から一同賛成する
ことに決定した。

○春委地震学会準備会

(委員会にひきつゞいて行はれた)

シンポジウム

島津幹事よりシンポジウムについての連絡報告が
行われた。即ち、内容は地球内部構造についての綜
合報告ならびに観測、時間は2時間、講演は京大・
三木、東大・島津。

スケジュール

慶松氏の手紙等を参照にして大体次の様な予定が
たてられた。

5月9日。午前学術講演

午後1時半～2時成巽開見学 2時より学術講演及
び

一般講演(約2時間)。講演終了後域内見学約30分

5月10日。午前学術講演、午後

シンポジウム、能見学(夜、午後、午前にする
かは問合せ後)終了後総会。

5月11日。午前学術講演、午後エクスカージ
ョン、夜 懇親会。

その他、費用に関して: 3万円は寄附(援助)の
ある見込。

金沢大学学長及び慶松氏に大会委員を紹介し、依
頼状を出すことに決定 宿舍の案内状を早く会員に配
布することになった。

○地震学会幹事会(委員会、大会打合せに引きつ
ゞいて行われた。)

出席者: 萩原・宮村・井上・広野・宇佐美・山口
・笠原・島津・金井・表・村上

I. 事務担当の村上嬢の退職並びにその後任者に
ついて、退職と新任者の支払いについて相談された。

Ⅱ. 山口幹事より会計報告あり。

Ⅲ. 庶務の報告を行つて

外国から「地震」購入のあつた処置をきめた。即
ち、地震の単価は1部 至 100.— 予約期間は1ヶ年、
発行回数は年5～6回であることを先方に知らせる
ことにした。

Ⅳ. 宮村幹事より編集について報告あり

Vol. 5, No. 4 は近日中に発行の予定であること
次号はすでに印刷出来るまでに事がはこびその内容
を紹介された。

V. 庶務であつかう印刷のタイプをおねがいした
のに対してのお禮についてそれを出すことは一同賛
成、細かい相談は庶務会計の方で計らうことにきま
った。

○地震学会幹事会

日 時 1953 年 4 月 6 日 P. M. 2～P. M. 3

場 所 地震研究所会議室。

出席者 宮村・笠原・松本・安藝・広野・宇佐美
・村内・和達・金井・笠原・表・村上・
上田。

議 題 1) 一般庶務報告, 2) 学会について,
学術会議からの報告

1) 庶務報告及び会員移動報告(村上)

2) 大会について

一般講演について慶松氏より注文があり、和達委員
長に依頼された。日時は8日金曜日午後を希望さ

れ、紹介された手紙通りに決定す。講演題目については広野氏が連絡されることに決定・9日午前は学術講演、午後はシンポジウムの予定通り決定・大会運営委員会の辞令を慶松氏に出し、大学長、台長、金沢測候所宛藤井亀雄様にそれぞれおく。

3) 学術会議の報告(会員選挙について)

・会員選挙12月10日投票締切・選挙行事3月26日よりはじまる・4月10日までに有権者と思はれるものゝ名簿提出・登録票その他の用紙を送ってくる・資格検査の結果は本人にしらせる・投票は郵送で各人が送る。全国区2名・日本科学者有権者の名簿を作製されるので、その申込みは全会員申込に決定す。

4) その他

イ) ユネスコクーポン券は簡単な説明を刷り込んで雑誌にはさみ会員に配布、宇佐美氏に依頼す。

ロ) 地震編集について

・宮村地震編集の計画発表(1.学会で報告してあるものは題目だけ編集委員に出す、2.学会で報告してないものは全部編集委員に廻す)・和達氏:論文ふくそうしているのでなければ普通版の方がよいとの意見

ハ) 秋の大会についての予想・場所:「東京」博物館、気象台、東大等が出た・日時:11月。

ニ) 会員の会費納入率が悪いのでその対策を考える・退会かん告状を出す(全々納入していない会員に)・請求をかんこくす。

ホ) 総会議題案について a) 依頼状についてはプログラムに記細(依頼状なき時は総会が流会となるおそれがあるため) b) 地震学会賞について(坪井氏の緊急提案)幹事会に検討をまかせていられたが下記の如き意見にまとまる・ブライズの主旨はたれでも賛成。しかしその実施方法運営方法に対して時期が尙早、学会の基礎的運営方針の充実が先である、幹事会の意見としては時期が早いことに決定・規約改正・名誉会員制度(会費免除、終身)を置く。

○地震学会定例幹事会 5月22日 於震研会議室
出席 和達・表・宮村・金井・村内・宇佐美・松本・島津・笠原、9時30分開会。

1. 地質学会会長より地学教育振興委員会設置に関する申込について(表幹事説明)。地震学会を代表して表幹事を同会委員会に推せん(全会一致)

2. 浅間山演習地設置問題:先に地震学会委員長より世界関係学会及学者に発送した書状に対する返

事を扱う(表)。これら返事に対する禮状及び本問題その後の経過報告を折返し発送することに決定。(具体的な世話は和達・表・宮村三名が行う)。

先の地震学会総会で採択された本問題に関する地震学会決議文をトウ写印刷の上、全会員に配布することを決定。

3. 金沢大会のあとしまつ:会計報告は次回に行いたい旨表幹事より申出であり、之を承認。

大会開催に協力された各方面へ禮状を発送する件を気象台(宇佐美幹事)で引うけることに決定。

宛先は次の通り

金沢大学学 長

〃 理学部長

〃 法文学部長

慶松 光 雄 氏

吉 村 寿 一 氏

4. 会計に関して:会計報告(笠原)

前回以後の主なる支出

「地震」印刷費約8万円、人件費、通信費等約1万円
会費納入は着々実績が上つている、会費値上げを全会員に通知する措置。

会計監査を井上幹事に委嘱する(全会一致で承認)
収入増加の一方策として機関紙表紙の第三面を広告に利用する事を研究することに決定。

本年賛助会費集金については委員長、北沢氏及び庶務幹事が努力することに決める。

5. 秋の大会に関し:シンポジウムの題目は地震計器とする。この担当は浅田・田治米両氏が適当と思われるので上記の件を依頼することに決定。

6. 編輯に関し(宮村):次回発行予定の「地震」の記事の中、学会記事を村内、庶務報告を表が夫々担当し、今週中に原稿をつくることにする。

7. 事務報告(上田):5月以降の会員移動、新入会8名、退会1名。

会費納入催促に対する反応の報告。静岡大学より本会機関誌と交換希望の申出でについては従来の建前通り謝絶する。

8. 学士院会員補充選挙に関する学術会議:事務局長よりの通達(表幹事報告)、上記内容を速やかに全会員に知らせる。之が対策について委員会を5月29日招集することを決定。以上 散会 11時

○第11回学術講演会及総会

1953年5月8日から4日間にわたり、金沢大学

に於て第 11 回学術講演会、総会及び特別講演会が行われた。第 1 日目、5 月 8 日午後 2 時半よりは金沢大学理学部講堂に於て坪井忠二、和達清夫両会員による特別公開講演が金沢大学と共催のもとに行われ 700 約名の聴講者があつた。第 2 日目から 3 日間、52 の題目につき、学術講演会が法文学教室で行われ約 70 名の出席のもとに活潑な質疑応答がなされた。9 日午後 12 時～14 時には兼六公園内成興閣の見学、16 時よりは地球内部構造に関するシムポジウムが 19 時過まで行われた。尙第 2 日目 10 日の 18 時より総会が総会が行われ、翌 11 日、無事学術講演会を終つて、午後はバス 2 台をつらねて粟ヶ崎海岸砂丘及び九谷焼竈元光仙を廻つてエクスカッションを行つた。尙同日夕刻より北間樓に於いて行われた懇親会は 50 余名出席し、盛会であつた。総会記事並びに特別公開講演会、学術講演会及びシムポジウムの講演題目等は次の通りである。

総 会

10 日 18 時より

1. 報告事項： 庶務幹事報告、会計幹事報告、編輯報告。

2. 会則に関する件： (1) 会則第 3 条の文案承認及び第 4 条変更案審議に関する件。坪井会員より文中、地震學に貢献等の言葉があるが地震學という言葉で地球内部の研究を含めた廣い意味に解釋すべきであるという意見がでて、和達委員長も同意する。文案は万場一致で承認された。(2) 会則変更に関する案審議。坪井会員より学会費に関する文部省側意見の伝達があり、会費値上に賛成の意見がのべられ山口会員からも賛成の発言があつた。吉山会員より本年度よりあげるのか、来年度よりするのかとの質問が行われ結局本年度よりの値上が承認された。

3. 討議事項： (1) 次回の大会開催場所、日時及び第二会場を設けることの可否、会場を二つにわけることより、プログラムの列べ方に検討を要すると意見がだされ、結局もう一年位様子をみてみようということになつた。来年の秋の大会会場は京都がよいではないかという和達委員長の発案あり万場拍手 (2) 科学研究費配分方法に関し学術会議に要望する件。萩原(尊)会員より科学研究費の総額の少いことは勿論であるが、第 4 部への分配額が減少しつゝあるため地震分科に對する割当額も減少しつゝある傾向がのべられた。和達委員長よりこれは第 4 部とし

て研究費の増額への大きな動きにもつてゆこうという発言があり討議を終る。(6) 浅間山演習地接收に反對する決議の件。和達委員長及び地震研究所側の高橋(龍)会員より説明あり、幹事会草案文(別掲)萬場一致に承認された。

更に今後の反對運動として、どんな手をうつたらよいかという和達委員長の発言に對し、慶松会員より爆発予知の研究は災害予防に關するという点を強調すべきであり、決議文は早速タイプに打つて各方面に配布すべきであり、金沢大学で協力出来る。又地方、中央の各新聞に連絡して記事を提供しつゝあるという発言があつた。高橋(龍)会員より地震研究所及び東大では、現在反對運動をおこしつゝあると報告し、和達委員長より学術会議にも運動をおこすように、地球物理研究連絡委員会が動いているという報告があつた。坪井会員より、個々のこまかい事もあるが大切なのは演習地になることがとにかく研究に支障に來すということを反對運動では地震學者全部で強調すべきであるという発言があつた。

4. 緊急動議： 表幹事より科学研究費云々に関し学術会議に要望する件について、何か文章を以つて要望すべきではないかという動議が出されたのに対し、和達委員長より幹事会に一任してくれという発言があつた。満場賛成。

特別公開講演会

8 日 14 時半より (於金沢大学理学部講堂)

1. 明神礁に於ける観測船第五海洋丸の遭難： 東大理 坪井忠二

2. 海と地震： 中央气象台 和達清夫

尙、両講演の間に、天然色スライドを用いて、明神礁の爆発状況の説明が国立科学博物館の村内必典により行われた。

地球内部構造に関するシムポジウム

9 日 16 時より

1. 地球内部構造論の現状： 島津康男

2. 地球内部構造に於ける物性論的方法：

三木晴男

学術講演会

1. 南海地震に伴う水平変動の歪解析について(10分)： 地理調 尾崎幸男

2. 南海地震に伴う復旧三角測量報告(10分)： 地理調査所

3. 筑波山で行われた光路屈折観測について (10

分): 地理調 原田美道・尾崎幸男

4. 水管傾斜計の自記装置について(続報)(10分): 京大地物 松島昭吾

5. 土地歪計による地殻潮汐の観測(第三報) 地殻の体積変化の観測 (15 分): 京大防災研 小沢康夫 高田理夫

6. 水管傾斜計観測と精密水準再測結果との比較 (10 分): 地震研究所 萩原尊礼

7. 地殻変動と破壊現象 (10 分): 東大理 坪井忠二・西沢 正

8. ノースアメリカン重力計による 北海道地方重力測量 (9 分): 地理調査所

9. 京都大阪附近に於ける重力の変化について(8 分): 地質調 飯田波事・小谷良隆・京大理 一戸時雄

10. 京都大阪地方における重力測定 (8 分): 京大理 佐々憲三・地質調 飯田波事

11. 中部(西部), 中国, 四国地方に於ける Bouguer 異常の分布 (10 分): 東大理 坪井忠二・実川 顯, 田島広一

12. 地震の空間分布について (10 分): 東大理 友田好文

13. 廻轉球の中の對流 (15 分): 東大理 竹内均・島津康男

14. Poloidal 型及び Toroidal 型の場の幾何學的表現 (10 分): 東大理 竹内 均・小林直太

15. 震害と地盤に就いて (10 分): 京大防災研 山口直一

16. 地盤の震動測定 (第一報) (10 分): 地震研 河角 廣・嶋 悦三・柴野隆郎・柳澤馬任

17. 日立鐵山に於ける地震動の観測結果: 第 4 報 (10 分): 東大震研 金井 清

18. 地表層の性質と振幅との關係 (18 分): 東大震研 金井 清

19. 釜石大爆破による地震動の観測 (摘要) (15 分): 爆破地震動研究グループ

20. 走時より出された日本の表層構造 (1)—中央部の場合— (15 分): 京大地物 玉城逸夫

21. 走時より出された日本の表層構造 (2)—日本西南部— (10 分) 京大地物 玉城逸夫・和田卓彦

22. P 波走時の偏差と地震のおこり方 (10 分): 代讀: 福岡管区氣象台 吉村壽一

23. 日本において観測された T 相について (10 分): 中央氣象台 和達清夫・井上宇胤

24. 深発地震の P 波及び S 波の初動分布について (10 分): 東北大理 本多弘吉・島 担

25. 日本附近に発現した地震の震源の深さ (10 分): 中央氣象台 和達清夫・岩井保彦

26. 八幡に於ける人工地震調査(概報) (10 分): 九大理 吉山良一

27. 時系列としての地震現象の取扱い (15 分): 東大理 安芸敬一

28. 石本—飯田の統計式における最大振巾指数について (第一報) (10 分): 京大理 北村俊吉・神村三郎

29. 弾性波の模型実験 (続報) (10 分): 地震研究所 笠原慶一

30. 爆破點近傍の破壊機構について (10 分): 京大理 吉川宗治

31. 土地の脈動の研究 (第三報) (10 分): 震研 岸上冬彦・浅野周三

32. 脈動の波浪の周期の關係について (10 分): 中央氣象台 井上宇胤・広野卓蔵・村井五郎

33. 昭和 25~26 年の三原山活動中のガス噴出量について (10 分): 科学博物館 村内必典

34. 溶岩溜の形と岩溶の圧力によるその周囲の応用分布との關係について (第一報) (10 分): 中央氣象台 広野卓蔵・守佐美龍夫

35. 神谷地, 地這りについて (10 分): 京大防災研 山口真一

36. 熊本県八代湾沿岸の地磁氣偏差 (10 分) 代讀: 熊本大 中村左衛門太郎

37. 地震活動と地磁氣の変化 (8 分): 東北大理 加藤愛雄・小坂山須人・高木章雄

38. 四国の地質構造, 南海地震について (10 分): 江原直伍

39. 1604 年(萬曆 32 年)福建省大地震 (20 分): 金沢大学 慶松光雄

40. 明, 清地震史研究経過報告と蒐集資料の展示 (10 分): 金沢大学 慶松光雄

41. 振巾の二乗を記録する装置についての実験 (10 分): 東大理 小林直太・高野光窮

42. Mechano-magnetic Transcriber について (10 分): 東大理 安芸敬一

43. 「クロノメーター」—「高周波口波器」—「フォニクモータ」方式による精密廻転装置 (10 分): 東大理 友田好文

44. 動線線輪の運動に及ぼす自己感応の影響 (10分): 秋田鉱山学部 田治米鏡二

45. Bobbin が導体の場合の線輪の運動について (10分): 秋田鉱山学部 田治米鏡二

46. 電気容量の変化を用いた高感度で安定な換振器の試作 (10分): 中央気象台 宇津徳治

47. エデン薄片の動特性とその振動計への応用 (15分): 東大工学部 西村源六郎・鈴木正治・古川英一

48. 新型震度計の試作 (10分): 東大震研 高橋龍太郎・羽鳥徳太郎

49. カムチャツカ南東沖の地震津浪について (10分): 群馬大 山口生知

50. 海岸に沿って伝る津浪 (10分): 東大震研 下鶴大輔

51. 湾内に於ける津浦の動向 (15分): 東大震研 高橋龍太郎・平能金太郎・相田 勇・下鶴大輔

52. 点状震源からの SH 波の反射, 屈折に就て (10分): 東北大理 本多弘吉・中村公平

(村内必典記)

○浅間山演習地化反対についての学会のうごき。5月10日の金沢における総会の席で幹事より報告したように、事態急迫につき5月7日学会としても浅間山の演習地化に反対する旨の簡単な手紙を関係方面に出し、同時に英訳して国外の学者数十人に発送した。総会で反対決議文が可決してから、直ちに総理、外相、文相、農相、特調長官、外務省国際協力局長、文部省学術局長、及びクラーク大將等に「ア

サマヤマエンシユウチニゼツタイハンタイス ジシ
ンガツカイソウカイ」なる電報を打った。決議文は10日頃、上述打電先に正式に呈出した。一方、この決議文にそえて反対運動に協力を依頼する手紙をつけ国内、国外各方面に発送した。

7日の手紙に対して B. Gutenberg より 20 日に返事があつたのを皮切りに、各方面から返事があり、14 日の手紙が行つてからもつといている。いろいろ様子を心配してきているので、経過報告と浅間山における研究計画などをするした手紙を月末に発送した。研究の中絶をうれえ、反対運動を激励するとともに、いろいろ手紙を関係方面に出したりして協力してくれている人も多い。直接在日米軍関係者に忠告してきてくれている人もある。

決議文及び反対協力依頼状発送先

国内: 日本学術会議会長副会長各部長, 理学関係各学会, 日本農学会, 日本工学会, 日本医学会, 民主主義科者協会, 大学教授連合, 日米協会, 日本ペンクラブ, ユネスコ協会連盟, 日仏会館, 日本ロータリークラブ, 衆参議長, 副議長, 両院外務, 文部各委員会, 各政党 (7), 外国通信社東京支局 (16), 駐日外国公館 (27)。

国外: 国際測地地球理学連合会長副会長, 幹事長 (2), 同火山分科, 地震分科会長, 副会長, 幹事長, アメリカ地球物理学連合会長, 同地震学会会長, 地理学会会長, National Research Council of USA 議長, フランクリン協会会長, 其他著名学者十余名

秋 季 講 演 会 予 告

10月29, 30, 31日 東京において行う予定。講演申込締切は 9月27日 締切厳守。追加申込は原則として今回より受け付けられませんから、御注意下さい。特別講演として浅田 敏, 田治米鏡二両氏に地震計についての話をおねがいしてあります。

決 議 文

浅間火山において、東京大学地震研究所、および中央气象台を中心として、過去数十年來行われて来た研究は、火山学上、地震学上の重要性において世界の学界のひとしく注目しているところである。現在すでに、同火山に関しては、その爆発群の予報も可能の域に達し、現在さらに進んだ諸研究が着々と進められ、また計画されている、近い将来、同火山において行われようとしている精密な全面的研究こそは国内は勿論広く国外の学界のつよく期待するところである。しかるに、最近、同地を米軍においてその演習地に指定しようという動きのあることは、学問のために考え、さらにはまた国際的反響を思うときまことに遺憾にたえない次第である。もし、万一にも、このことが實現したならば、同火山における自由な研究は全く阻害され、火山爆発の予知という社会的重要性をもつ研究も停止せざるをえない。このようなことは、我々の学問的立場よりみて断じて黙視しえないところである。よつてこゝに我々は浅間山演習地化に反対を表明し、その實現しないことを要求するものである。

右決議する

1958 年 5 月 10 日

地震学会総会（於金沢市）

Kanazawa City, May 10, 1958

RESOLUTION

The researches that have been carried on at Mt. Asama for several scores of years under the joint auspices of the Earthquake Research Institute of Tokyo University and the Central Meteorological Observatory are universally watched with keen interest in world academic circles regarding their importance in the volcanological and seismological fields. The prediction of explosion groups in connection with the volcano has already attained the stage of feasibility, and diverse researches of more advanced nature are being steadily carried on or are under contemplation. A project of general research of most precise nature, which is to be shortly commenced on the volcano, is looked to with keen expectation in academic circles not only of Japan but also overseas. It is most regrettable not only in behalf of science as a whole but also in consideration of international reaction that there recently are signs of the U.S. forces proposing to designate the volcano as a manoeuvre ground. If this proposal should turn to reality, free researches on the volcano would be totally hampered, and the study of prediction of volcanic explosion, which is an important social service, couldn't but be stopped. We should never tolerate such state of affairs from the scientific point of view.

Therefore we

RESOLVE: to express absolute opposition to the using of Mt. Asama as a manoeuvre ground, and to demand the non-realization of the said using of the mount.

The Plenary Session of the Seismological Society of Japan

地震学会賛助会員（順序不同）昭和 28 年 8 月 1 日現在

三井不動産株式会社
 鹿島建設株式会社
 大成建設株式会社
 清水建設株式会社
 竹中工務店
 大林組
 織本建築設計事務所
 茂木建築設計事務所
 依田建築設計事務所
 三菱地所株式会社
 保坂振動計器製作所
 電力中央研究所
 明石製作所

東京都中央区日本橋室町 2 の 1 の 1
 東京都中央区横町 2 の 3
 東京都中央区銀座 3 の 4
 東京都中央区室町 2 の 1
 （東京支店）千代田区大手町 1 の 6
 （東京支店）千代田区丸ノ内 1 の 2
 東京都中央区日本橋蛸薬町 3 の 2
 東京都文京区大塚町 33
 東京都千代田区麹町 1 の 7
 東京都千代田区丸ノ内 2 丁目 2 の 211
 東京都文京区小石川柳町 22
 東京都北多摩郡狹江町岩戸 1229
 東京都品川区東品川 5 の 1

「地震」投稿規定

1. 原稿は 400 字詰原稿用紙に横書に認め、仮名は平仮名、外国語は片仮名又は原語を用いること。
2. 句読点、. 等を明瞭に記入すること。
3. 地名、人名の読みにくくいものには振仮名を付けること。
4. 数字は漢字を用いず、アラビア数字を用いること。
5. 引用文献等は最後に本文中の引用箇所の番号を附して記載のこと。
6. 挿図は墨で明瞭に書き、刷上り寸法又は縮率を必ず記入すること。図の中の文字は刷上り 1mm 以下にならぬこと。原稿に赤字で図の挿入場所を指定すること。
7. 原稿には必ず欧文題目と欧文要約（大体 300 語以内）を付けること。
8. 論文の長さは当分の間、なるべく刷上り 6 頁（400 字詰原稿用紙約 10 枚）以内のこと。
9. 別刷は 100 部を贈呈し、それ以上は著者の負担（用紙を含む）とする。
10. 校正は初校以後は編集係に一任のこと。
11. 特殊な図版（折込、色刷等）は当分の間著者が費用を負担すること。
12. 挿図、表等の説明には欧文を用いること。
13. 数式、特に本文中の式はなるべく一行以上を占領せざる形（たとえば k/μ , $\sin \{(s\pi a/l) - (s\pi ct/l)\}$ のごとく）にかくこと。
14. 寄書は刷上り 1 頁未満（400 字詰原稿用紙約 2 枚迄）とし、欧文題目をつけること。寄書の図面は刷上り横 6 cm 又は 12 cm にするようにかくこと。

昭和28年8月25日 印刷

第2輯 第6卷 第1號

昭和28年8月30日 發行

東京大學理學部地球物理学教室内

編輯發行
兼印刷者

地 震 学 会

代表者 萩 原 尊 礼

印刷所

合名会社 双 文 社

発行所

東京大學理學部
地球物理学教室内

地 震 学 会

(振替東京11918番)

Z I S I N

JOURNAL OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN

Vol. 6. No. 1

SECOND SERIES

August 1953

CONTENTS

ARTICLES

- The Great Earthquake of Hainan Island, China, on July
13, 1605 Mitsuo KEIMATSU 1
- Observations of Seismic Waves from the Second Isibuti
Explosion The Research Group for Explosion Seismology, Japan 5

REVIEWS

- On Elastic Surface Waves Yasuo SATÔ 28
- On Seismic Surface Waves Tetsuo AKIMA 35
- SEISMOLOGICAL NOTES 55

Published

by

the Seismological Society of Japan,

c/o Geophysical Institute, Faculty of Science, Tokyo University,

Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.